

TUGAS AKHIR

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS MENGUNAKAN KARBON AKTIF



Rt
628.1662
Pur
d-1
1992

Oleh :

Eko Setijo Durnomo

Nrp : 3863300078

PENPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	14-4-2003
Terima dari	FI
No. Agenda dip.	217492

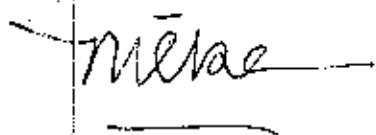
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1992

TUGAS AKHIR

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS MENGUNAKAN KARBON AKTIF

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. NIEKE KARNANINGROEM

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1992**

ABSTRAK

(TESIS MAYOR)

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS MENGGUNAKAN KARBON AKTIF

(TESIS MINOR)

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS DENGAN FIX BED
ADSORPTION COLUMN UNTUK SKALA RUMAH TANGGA

oleh : Eko Setijo Purnomo

nrp : 3863300078

Teknik Lingkungan, FTSP-ITS

Kualitas air PAM yang sumber air bakunya dari sungai semakin memburuk. Keadaan ini dapat dimengerti karena terlalu banyaknya beban polusi yang diterima air sungai. Selain itu keadaan seperti ini juga akan meningkatkan penggunaan khlor sebagai oksidator pengolahan air. Efek khlorinasi yang mempengaruhi kesehatan adalah khlor bebas yang berlebih. Selain itu juga dimungkinkan terbentuknya senyawa-senyawa hidrokarbon khlor dan khlor amine yang bersifat Carcinogenik.

Penggunaan khlor sebagai desinfektan lebih murah dibandingkan desinfektan yang lain. Selain itu desinfektan ini efektif untuk sistim distribusi air bersih. Kelemahannya adalah konsentrasi yang tinggi di daerah dekat instalasi dan konsentrasi yang rendah di daerah yang jauh dari instalasi. Dosis khlor berlebih tersebut akan mengganggu penerimaan konsumen.

Dekhlorinasi menggunakan karbon aktif sangat efektif untuk maksud diatas. Hal yang istimewa adalah kemampuan untuk menghilangkan khlor bebas dan senyawa Carcinogenik diatas. Selain itu dekhlorinasi cukup praktis untuk diterapkan di rumah tangga. Dari hasil penelitian dekhlorinasi khlorine bebas menggunakan karbon aktif diperoleh nilai rate reaksi sebagai berikut: untuk karbon aktif import pada sampel buatan adalah $5,613 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m-det}$ dan untuk karbon aktif lokal pada sampel yang sama adalah $3,320 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m-det}$. Dan dari hasil penelitian tersebut karbon aktif import (extra pure) kemampuannya lebih baik dari pada karbon aktif lokal.

Pada perencanaan berdasarkan hasil analisa model Bohart-Adam untuk karbon aktif import diperoleh hasil sebagai berikut. Dengan menggunakan tinggi kolom 1,2m dan diameter kolom 0,05 m (2,5"), 0,076m (3"), 0,127m (5") dan 0,2m (8") diperoleh harga per liter air terolah optimum pada diameter 0,076m (3"). Hasil ini diperoleh dengan pengoperasian reaktor pada overflowrate $8,63 \cdot 10^{-4}$, $1,72 \cdot 10^{-3}$ dan $2,59 \cdot 10^{-3} \text{ m/det}$.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat ALLAAH SWT yang telah melimpahkan rahmatnya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan selamat. Tugas Akhir ini kami beri judul

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS MENGGUNAKAN KARBON AKTIF

Tugas akhir ini sebagai persyaratan kurikuler untuk memperoleh gelar kesarjanaan dari Program Studi teknik Lingkungan FTSP ITS.

Tidak lupa kami mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ibu Ir.Nieke Karnaningroem yang dengan sabar membimbing kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir.Sarwoko M, MSc Es selaku koordinator Tugas Akhir
3. Ibu Ir.Ati Hartati, MSc sebagai dosen wali.
4. Bapak Dr.Ir. Wahyono Hadi,Msc selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan FTSP ITS.
5. Bapak Ir. J.B. Widiadi MENG selaku Kepala Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP ITS.
6. Bapak dan Ibu Dosen yang telah banyak memberikan ilmunya kepada kami.
7. Juga kepada para laboran dan seluruh karyawan Teknik

Lingkukan yang telah membantu kelancaran selama praktikum dan urusan-urusan lain.

8. Saudara Hari Supriyono, I Putu Ariyadna, Renung R serta teman-teman yang telah banyak membantu seksesnya Tugas Akhir ini.

Kami menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan. Semoga dari yang kurang dapat menimbulkan ide bagi yang berkepentingan untuk lebih menyempurnakan.

Semoga Tugas Akhir ini diterima ALLAAH SWT sebagai amal jariyah bagi diri kami sendiri maupun yang memerlukan.

Surabaya, Oktober 1992

penyusun

(Eko Setijo Purnomo)

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1. Grafik Penurunan Konsentrasi Melawan Waktu Kontak Untuk konsentrasi 1,25 gr/l.....	IV- 2
Grafik 4-2. Grafik Penurunan Konsentrasi Melawan Waktu Kontak Untuk konsentrasi 2,5 gr/l.....	IV- 3
Grafik 4-3. Grafik Penurunan Konsentrasi Melawan Waktu Kontak Untuk konsentrasi 5 gr/l.....	IV- 4
Grafik 4-4. Grafik Penurunan Konsentrasi Melawan Waktu Kontak Untuk konsentrasi 7,5 gr/l.....	IV- 5
Grafik 4-5. Rate Reaksi Karbon Aktif Import Pada Berbagai Konsentrasi Karbon Aktif.....	IV- 7
Grafik 4-6. Rate Reaksi Karbon Aktif Lokal Pada Berbagai Konsentrasi Karbon Aktif.....	IV- 8
Grafik 4-7. Hubungan Antara Rate Reaksi Dengan Gr Khlor Bebas Yang Direaksikan /Gr Karbon aktif Yang Direaksikan.....	IV- 9
Grafik 4-8. Hubungan Antara Rate Reaksi Dengan Gr Khlor Bebas Yang Direaksikan /Gr Karbon aktif Yang Direaksikan. Pada Karbon Aktif Import.....	IV-10
Grafik 4-9. Hubungan Antara Rate Reaksi Dengan Gr Khlor Bebas Yang Direaksikan /Gr Karbon aktif Yang Direaksikan. Pada Karbon Aktif Lokal.....	IV-11
Grafik 4-10. Persamaan Rate Reaksi Karbon Aktif Import Yang Digunakan.....	IV-15
Grafik 4-11. Persamaan Rate Reaksi Karbon Aktif Lokal Yang Digunakan.....	IV-16
Grafik 4-12. Pengaruh Pengadukan Terhadap Penurunan Konsentrasi Khlor Bebas.....	IV-17
Grafik 4-13. Hubungan Antara L/V Dengan Ln Cin/Cef Pada Karbon Aktif Yang Digunakan.....	IV-23
Grafik 4-14. Kurva Breakthrough Untuk Karbon Aktif Import Pada Konsentrasi 13 mg/l. Debit 0,302 l/min.....	IV-27
Grafik 4-15. Kurva Breakthrough Untuk Karbon Aktif Import Pada Konsentrasi 9 mg/l. Debit 0,263 l/min.....	IV-28
Grafik 4-16. Regresi Dari Model Kinetik Untuk Karbon Aktif Import.....	IV-32
Grafik 4-17. Regresi Dari Model Kinetik Untuk Karbon Aktif Lokal.....	IV-33
Grafik 4-18. Hasil Regresi Dari Model Bohart-Adam Pada Overflowrate 1 gpm/ft ²	IV-36

Grafik 5-1.	Rate Reaksi Karbon Aktif Yang Dipakai Pada Sampel Asli Yang Distantart.....	V-7
Grafik 5-2.	Regresi Dari Tinggi Kolom Operasi dengan Lama Waktu Breakthrough Pada Kolom 1" Dan Konsentrasi Sampel Asli Yang Distantart...	V-10
Grafik 5-3.	Garis Operasi Bohart-Adam Pada Sampel Air PAM Yang Distantart.....	V-11
Grafik 5-4.	Hubungan Antara Harga Pengolahan Per L Filtrat Melawan Overflowrate Pada Beberapa Diameter Kolom.....	V-15

DAFTAR ISI

ABSTRAKS.....	hal i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GRAFIK.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii

BAB I. PENDAHULUAN.

1.1. Latar Belakang.....	I-1
1.2. Tujuan Dan Ruang lingkup.....	I-3
1.2.1. Tujuan.....	I-3
1.2.2. Ruang Lingkup.....	I-4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.

2.1. Khlorinasi.....	II- 2
2.1.1. Khlor Sebagai Desinfektan.....	II- 2
2.1.1.1. Sifat-sifat Dan Jenis-jenis khlor untuk Desinfektan.....	II- 5
2.1.2. Dampak Khlorinasi.....	II- 8
2.1.2.1. Dampak Terhadap Lingkungan.....	II- 8
2.1.2.2. Dampak Terhadap kesehatan Manusia.....	II- 8
2.2. Dekhlorinasi.....	II-11
2.2.1. Beberapa Metode Dekhlorinasi.....	II-12
2.2.2. Dekhlorinasi Menggunakan Karbon Aktif.....	II-14
2.3. Adsorpsi.....	II-17
2.3.1. Adsorpsi Fisika.....	II-18
2.3.2. Adsorpsi Kimia.....	II-19
2.3.3. Adsorpsi Isoterm.....	II-19
2.3.3.1. Model Langmuir.....	II-20
2.3.3.2. Model Freunlich.....	II-22
2.3.3.3. Model Brunaur, Emmet & Teller (BET).....	II-23

2.4.	Rate Reaksi Dekhlorinasi.....	II-25
2.4.1.	Teori Magee.....	II-25
2.4.2.	Teori Hans Pick.....	II-26
2.5.	Pengoperasian Reaktor.....	II-28
2.5.1.	Pengoperasian Secara Batch.....	II-28
2.5.2.	Pengoperasian Secara Kontinyu...	II-29
2.6.	Kurva Breakthrough.....	II-30
2.7.	Zone Penyerapan (Sorption Zone).....	II-31
2.8.	Disain Reaktor.....	II-33
2.8.1.	Metode Scale Up.....	II-34
2.8.2.	Pendekatan Kinetik.....	II-35
2.8.2.	Pendekatan Bohart-Adam.....	II-38
2.8.3.	Pendekatan Dengan Model Transfer Massa.....	II-38
2.9.	Umur Bed Dekhlorinasi Dan Regenerasi....	II-40

BAB III. MATERIAL DAN METODOLOGI.

3.1.	Kerangka Penelitian.....	III- 1
3.2.	Materialan.....	III- 2
3.2.1.	Bahan-bahan.....	III- 3
3.2.1.1.	Adsorbent.....	III- 3
3.2.1.2.	Larutan Sampel.....	III- 4
3.2.1.3.	Reagent Yang Digunakan.....	III- 4
3.2.2.	Peralatan Yang Dipakai.....	III- 6
3.3.	Metodologi.....	III- 8
3.3.1.	Sistim Pengoperasian Reaktor.....	III- 8
3.3.1.1.	Proses Batch.....	III- 8
3.3.1.2.	Uji Pengaruh Pengadukan Terhadap Penurunan Kon- sentrasi Khlor Bebas...	III-12
3.3.1.3.	Proses Kontinyu.....	III-12
3.3.2.	Analisa Titimetri Untuk Konsen- trasi Khlor Bebas.....	III-16
3.3.3.	Analitical Quality Control.....	III-18
3.3.4.	Spesifikasi Karbon Aktif.....	III-18
3.3.4.1.	Gradasi Media.....	III-18
3.3.4.2.	Berat Jenis.....	III-19
3.3.5.	Metode Pengolahan Data.....	III-19

4.1.2.	Pengaruh Pengadukan.....	IV-14
4.1.3.	Analisa Korelasi Pada Proses Batch.....	IV-18
4.2.	Proses Kontinyu.....	IV-20
4.2.1.	Analisa Kemampuan Dekhlorinasi Karbon Aktif Dengan Persamaan Hans Pick.....	IV-20
4.2.2.	Analisa Kemampuan Dekhlorinasi Karbon Aktif Dengan Menggunakan Model Kinetik.....	IV-24
4.2.3.	Analisa Kemampuan Dekhlorinasi Karbon Aktif Dengan Menggunakan Model Bohart-Adam.....	IV-35
4.2.4.	Analisa Korelasi Untuk Proses Kontinyu.....	IV-37
4.2.5.	Perbandingan Hasil Antara Model Kinetik Dan Kontinyu.....	IV-39
4.2.6.	Pengaruh Penghentian-Penghentian Operasi Pada Umur Karbon Aktif....	IV-42
4.2.7.	Regenerasi.....	IV-43

BAB V

(THESIS MINOR)

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS DENGAN FIXED BED ADSORPTION COLUMN UNTUK SKALA RUMAH TANGGA.

5.1.	Pendahuluan.	
5.1.1.	Tinjauan Kualitas Air Minum.....	V- 1
5.1.2.	Tinjauan Kelayakan Pakai.....	V- 2
5.2.	Penggunaan Karbon Aktif Untuk Dekhlorina tor Dengan Sistim Fix Bed Continuous Flow.	V- 5
5.2.1.	Penurunan Kemampuan Karbon Aktif Untuk Operasi Menggunakan Sampel Air PAM Yang Distandardkan.....	V- 5
5.2.2.	Penerapan Disain Dari Bohart-Adam.	V- 8
5.2.3.	Kendala Penentuan Umur Dari Disain..	
5.2.4.	Perkiraan Biaya Pengolahan Menggu nakan Dekhlorinator.....	V-12
5.2.5.	Tabel Ringkasan Hasil Analisa Pene litian.....	V-16

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN.

6.1.	Kesimpulan.....	VI-1
6.2.	Saran.....	VI-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMIRAN.

DAFTAR TABEL

	hal
Tabel 3-1. Daftar Nilai R Dan Kekuatan Korelasinya	III-20
Tabel 4-1. Tabel Rate Reaksi Pada Berbagai Konsentrasi Karbon Aktif.....	IV- 6
Tabel 4-2. Data Hubungan Antara Ln K (Rate Reaksi)... Dengan Gr Khlor Bebas/Gr Karbon Yang Direaksikan. Pada Karbon Aktif Yang Dicoba....	IV-13
Tabel 4-3. Penurunan Konsentrasi Khlor Bebas Akibat Pengaruh Pengadukan.....	IV-17
Tabel 4-4. Nilai Korelasi Antara Waktu Reaksi Dan Ln Co/Ce Khlor Bebas Pada Berbagai Konsentrasi Karbon.....	IV-19
Tabel 4-5. Nilai Korelasi Antara Ln Rate Reaksi Dengan Gram Khlor Bebas Dengan Direaksikan /Gr Karbon Aktif Yang Direaksikan.....	IV-19
Tabel 4-6. Nilai Korelasi Antara Ln Rate Reaksi Dengan Khlor Bebas Pada Derajat Pengadukan. Tertentu.....	IV-19
Tabel 4-7. Data Hubungan Antara Ln Cin/Cef Dengan L/V Pada Karbon Aktif Import.....	IV-21
Tabel 4-8. Data Hubungan Antara Ln Cin/Cef Dengan L/V Pada Karbon Aktif lokal.....	IV-21
Tabel 4-9. Kemampuan Penghilangan Khlor Bebas Untuk Karbon Aktif Import Dengan Konsentrasi Khlor Bebas 13 mg/l. Volume Karbon Aktif 10 ml. Debit Pengaliran 5,087 ml/mnt. Diameter Kolom 1 Inc.....	IV-26
Tabel 4-10. Kemampuan Penghilangan Khlor Bebas Untuk Karbon Aktif Lokal Dengan Konsentrasi Khlor Bebas 9 mg/l. Volume Karbon Aktif 10 ml. Debit Pengaliran 4,396 ml/mnt. Diameter Kolom 1 Inc.....	IV-26
Tabel 4-11. Data Hubungan Antara Ln (Co/Ce-1) Dengan V (Volume Filtrat) Pada Model Kinetik, Untuk Karbon Aktif Import.....	IV-30
Tabel 4-12. Data Hubungan Antara Ln (Co/Ce-1) Dengan V (Volume Filtrat) Pada Model Kinetik, Untuk Karbon Aktif Lokal.....	IV-31
Tabel 4-13. Data Hubungan Antara X (Panjang Zone Serap) Dengan t (Waktu Breakthrough).....	IV-35
Tabel 4-14. Nilai Korelasi Antara Ln Rate Reaksi Dengan Perbandingan Antara Massa Khlor Bebas Dan Karbon Aktif Yang Direaksikan.....	IV-38
Tabel 4-15. Nilai Korelasi Antara Volume Dengan Ln (Co/Ce-1) Pada Model Kinetik.....	IV-38

Tabel 4-18.	Nilai Korelasi Antara Overflowrate Dengan Waktu Breakthrough Pada Model Bohart-Adam.	IV-38
Tabel 5-1.	Hubungan Antara L/V Dan $\ln (C_e/C_o)$ Pada Sampel Air PAM Yang Distandart Pada Konsentrasi Awal 3 mg/l Untuk Karbon Aktif Yang Dipakai.....	V- 8
Tabel 5-2.	Data Hubungan Antara Tinggi Kolom Dan Lama Waktu Breakthrough Untuk Overflowrate Yang Bervariasi.....	V- 8
Tabel 5-3.	Nilai N_o Dan K Pada Berbagai Overflwate...	V- 8
Tabel 5-4.	Data Hubungan Antara Overflowrate Dan Debit Pada reaktor Dekhlorinasi Diameter 2,5" Pada Tinggi Karbon 120,1 Cm Melawan Biaya Pengolahan Per Liternya.....	V-13
Tabel 5-5.	Data Hubungan Antara Overflowrate Dan Debit Pada Reaktor Dekhlorinasi Dengan Beberapa Diameter Kolom Pada Tinggi Karbon 120,1 Cm Melawan Biaya Pengolahan Per Liternya...	V-14
Tabel 5-6.	Ringkasan Hasil Analisa Penelitian.....	V-16

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Mekanisme Khlorinasi Dengan Titik Breakpoint.....	II- 3
Gambar 2-2. Distribusi Khlorine Sebagai HOCl Dan OCl ⁻ Pada Suhu 20°C Vs pH.....	II- 7
Gambar 2-3. Konsentrasi Vs Waktu Kontak Untuk Daya Bunuh 99% Terhadap Coli Dan Tiga Virus Oleh HOCl Pada Suhu 0°C sampai 6°C.....	II- 8
Gambar 2-4. Hubungan Antara Phenol Dan Khlor Bebas Yang Direaksikan Pada Reaktor Karbon Aktif.....	II-17
Gambar 2-5. Hubungan q _c Dan C Adsorpsi Langmuir.....	II-21
Gambar 2-6. Hubungan Linier Antara 1/q _c Dan 1/C Model Langmuir.....	II-22
Gambar 2-7. Hubungan q _c Dan C Model Freundlich.....	II-23
Gambar 2-8. Penentuan Konstanta Adsorpsi Oleh Freundlich.....	II-23
Gambar 2-9. Hubungan q _c Dan C Pada Model BET.....	II-25
Gambar 2-10. Penentuan Konstanta Adsorpsi.....	II-25
Gambar 2-11. Adsorption Zone Dan Kurva Breakthrough Pada Phase Cair-Padat.....	II-33
Gambar 2-12. Hubungan Antara Hasil Filtrasi Dengan Diameter Pada Overflowrate Tertentu.....	II-41
Gambar 3-1. Reaktor Proses Batch.....	III-10
Gambar 3-2. Reaktor Kontinyu.....	III-13

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data-Data Proses Batch.
- Lampiran 2. Data AQC.
- Lampiran 3. Spesifikasi Karbon Aktif.
- Lampiran 4. Data Hasil Percobaan Penentuan Waktu Kontak Untuk Memperoleh Waktu Kontak Mendekati 0.
- Lampiran 5. Foto-Foto Peralatan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG.

Sebagai kebutuhan utama, air menjadi semakin penting bila ketersediaannya semakin sulit diperoleh dengan kuantitas dan kualitas yang layak. Apalagi polusi terhadap sumber-sumber air baku air bersih semakin banyak terjadi. Keadaan ini menjadi lebih memprihatinkan karena sebagian besar kebutuhan air di kota-kota besar seperti Surabaya diambil dari air permukaan.

Surabaya yang kebutuhan air minumannya berasal dari air sungai mengalami masalah ini. Karena semakin beragamnya polutan yang terbawa. Sebagai mana dikeluhkan pelanggan bahwa hasil akhir pengolahan pada musim kemarau lebih buruk dari musim hujan terutama pada parameter tertentu misalnya warna dan kandungan zat organik. Kejadian ini banyak disorot berbagai media massa.

Dilain pihak konsumen masih sering menerima air bersih dengan kadar khlor yang tinggi. Keadaan ini dapat dijumpai oleh adanya bau akibat proses khlorinasi dan air terasa agak pahit. Sebenarnya Khlor aktif yang berfungsi sebagai disinfektan ini dapat hilang dengan pemanasan air.

Pada air PAM dengan gas khlor yang tinggi menyebabkan terganggunya pernapasan pada konsentrasi yang cukup tinggi dimana gas khlor dapat diabau dengan indra penciuman. Selain itu larutannya dapat mengiritasi kulit. Dari gambaran ini alangkah baiknya bila gangguan ini bisa diperkecil atau sekaligus dihilangkan.

Dari pihak PAM sendiri memang sulit untuk mengatasi masalah disinfeksi yang dipakai. Khlor sebagai disinfeksi masih menjadi pilihan utama selain murah juga efektif. Penggantian disinfektan dirasa kurang efisien untuk pengamanan mikrobial di jaringan distribusi.

Dari uraian diatas masalah bau yang ditimbulkan oleh khlorine dirasa bisa mempengaruhi kesehatan dan perasaan dari konsumen. Sebagai tindakan pencegahan sebelum air berkontak dengan kosumen perlu peralatan penghilang khlorine sehingga kontak air dengan konsumen tidak menimbulkan dampak yang tidak diinginkan, selain itu mutu air lebih baik. Dan pengamanan mikrobial pada konsumen tidak menjadi masalah karena budaya pemanasan air untuk minum sudah membudaya jadi tak perlu dikhawatirkan.

Sebenarnya banyak metode penghilangan kelebihan khlor yang bisa diterapkan. Penggunaan bahan-bahan kimia, aerasi

dan adsorpsi menggunakan karbon aktif. Penggunaan sistim adsorpsi menggunakan bed kolom dirasa lebih menguntungkan. Selain dapat menghilangkan khlor juga dapat menghilangkan polutan lain seperti warna dan senyawa-senyawa khlor organik.

Memang pada saat sekarang keberadaan karbon aktif masih sulit diperoleh. Tetapi dengan adanya ketersediaan sumber karbon yang melimpah tidaklah sulit untuk memproduksinya. Dan ini bisa terjadi bila penganeekaragaman penggunaan karbon aktif bisa ditingkatkan.

1.2. TUJUAN DAN RUANG LINGKUP.

1.2.1. Tujuan.

1. Mengukur kemampuan karbon aktif dalam deklorinasi yang mana konsentrasi khlorine bebas yang dicoba disesuaikan dengan kemungkinan konsentrasi khlorine bebas yang ada di jaringan distribusi air bersih.
2. Mendapatkan informasi beban volumetrik untuk kepentingan desain reaktor.
3. Memperoleh waktu jenuh dekhlorinasi untuk kepentingan operasi dan pemeliharaan.

1.2.2. Ruang Lingkup.

1. Sampel air yang diuji adalah sampel air buatan yaitu dengan menggunakan larutan standart khlor.
2. Proses deklhorinasi dibatasi pada aspek fisika dengan sistim batch proses dan continuous flow.
3. Pada percobaan laboratorium yang menjadi perhatian utama pada :
 - karakteristik sampel
 - waktu kontak
 - tinggi stack column untuk diameter karbon yang tersedia di pasaran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Mengingat banyaknya penggunaan khlor sebagai sarana penunjang kehidupan manusia, maka perlu pengetahuan tentang dampaknya terhadap lingkungan. Pengetahuan ini sangat perlu agar penggunaan khlor dan derivatnya tidak membahayakan lingkungan terutama kesehatan manusia.

Penggunaan Khlor sebagai bahan pengolah air minum dan sudah umum digunakan. Sebagian besar PAM di Indonesia mempercayakan desinfeksinya kepada khlor.

Dalam tinjauan kepustakaan ini akan kami perlihatkan penggunaan khlor terutama sebagai pengolah air minum dan juga dampaknya. Usaha mengurangi resiko yang ditimbulkan dengan penghilangan kadar khlor bebas.

2.1. KHLORINASI.

Khlorinasi adalah istilah penggunaan khlor sebagai bahan pengolah air. Khlor sebagai oksidator yang kuat banyak dimanfaatkan untuk penghilangan bau. Sebagai oksidator khlor mampu meremovel amoniak, logam-logam dan zat dalam proses air buangan. Khlor yang dipergunakan untuk mengurangi kadar beban di pengolahan pendahuluan disebut sebagai prekhlorina-

si. Selain itu juga sebagai desinfektan setelah akhir proses pengolahan. Dalam hal ini desinfeksi menjadi perhatian utama dalam studi ini.

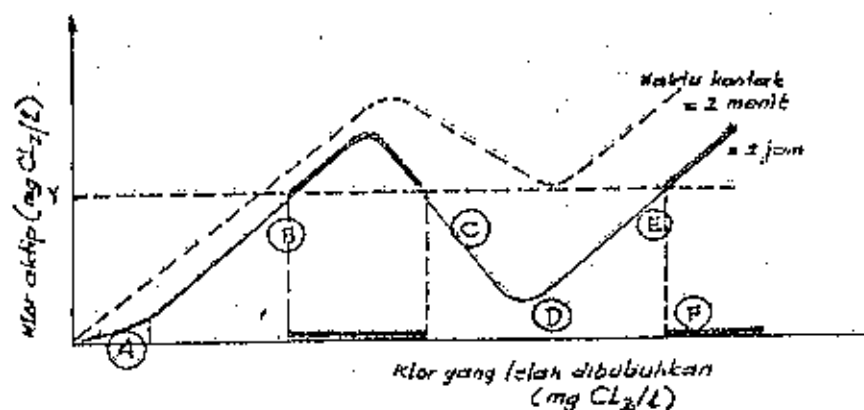
2.1.1. Klor Sebagai Desinfektan

Klor mempunyai sifat sebagai oksidator yang kuat selain itu juga mempunyai sifat sebagai desinfektan. Sebagai desinfektan sisa klor terbukti efektif. Reaksi khlorinasi dalam pengolahan air minum disebut Breakpoint khlorinasi.

Breakpoint khlorinasi adalah sebuah mekanisme khlorinasi dalam pengolahan air minum untuk tujuan sebagai berikut :

1. Oksidasi terhadap zat-zat pereduksi seperti Fe^{2+} , Mn^{2+} dan NO_2^- .
2. Mengoksidasi NH_3 menjadi khloramine.
3. Mengoksidasi Khloramine yang terbentuk menjadi N_2 bebas.
4. Meremoval mikroorganisme yang ada.

Proses 1-3 yaitu sampai khloramine habis teroksidasi disebut titik breakpoint. Jadi proses 4 adalah proses desinfeksi sendiri. Mekanisme proses dapat dilihat pada gambar 2-1 dibawah ini.



Gambar 6.2.a Grafik klorinasi dengan breakpoint (klorinasi titik retak)

- A. Oksidasi zat-zat pereduksi
B. Kloramin terbentuk (reaksi 4 dan 5)
C. Gas N_2 terbentuk (reaksi 7)
D. Breakpoint (titik relax)
E. Kloraitip = $\{HOCl\} + \{OCl^-\} + \{Cl_2\} + \{NH_2Cl\} + NHCl_2\}$
F. Dosis klor untuk pembasmi kuman.

GAMBAR 2-1: MEKANISME KHLORINASI DENGAN TITIK BREAKPOINT.
(DIAMBIL DARI PUSTAKA NO 2)

Proses terakhir dari mekanisme khlorinasi adalah proses desinfeksi. Proses ini sangat bergantung terhadap banyak hal. Menurut Chang (1971) pada pustaka 11, desinfeksi dilu-
kiskan sebagai proses kompleks yang tergantung kepada hal-
hal berikut :

1. Sifat fisik dan kimia dari disinfektan.
2. Struktur kimia alami inti sel dan aspek fisik dari patogen.
3. Interaksi kedua faktor diatas.

4. Sejumlah faktor yang berpengaruh dalam reaksi yaitu :

- a. Temperatur.
- b. pH
- c. Sifat elektrolis.
- d. Gangguan pada substansi.

Selain itu dia juga mengelompokkan disinfektan sebagai

- 1. Oksidator (Ozone, Halogen, halogen kompleks).
- 2. Kation dari logam berat.
- 3. Kelompok organik.
- 4. Gas.
- 5. Fisik (panas, ultraviolet, ionization, pH dan radiasi).

Oleh Englebrecht (pustaka 11) struktur kimia alami inti sel dan aspek fisik dari patogen dikelompokkan dalam katagori seperti kelompok bakteri, kelompok virus, kelompok protozoa dan cacing. Spora bakteri mempunyai daya tahan terhadap desinfektan. Juga bakteria patogen seperti tuberculosis yang lebih resisten dari coliform gram negatif sebagai kriteria desinfeksi air bersih dan buangan. Tetapi kelompok mikroba resisten tadi tidak penting dalam proses desinfeksi. Kelompok mikroba seperti kista dan telur dari protozoa serta cacing juga tahan terhadap proses desinfeksi tetapi mikroba ini bisa hilang dengan proses pengolahan

yang lain seperti flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi.

Penambahan temperatur akan mempercepat proses desinfeksi. Jika ada zat organik desinfektan kimia akan bereaksi dengannya. Jadi akan mengurangi konsentrasi efektif dalam pembasmian. Pada khlorinasi pH memegang peranan penting karena berpengaruh pada distribusi relatif bahan tersebut.

Cara desinfektan membunuh mikroba ada beberapa cara. Pada khlor dan oksidator lain mekanismenya ada 2 yaitu :

1. Penembusan terhadap dinding sel.
2. Menidak aktifkan enzim pertumbuhan. Enzim adalah material asam amino yang mudah teroksidasi oleh oksidator.

Desinfeksi secara fisik akan menyebabkan bentuk fisik sel rusak dan akhirnya mati.

2.1.1.1. Sifat-Sifat Dan Jenis-jenis khlor Untuk Desinfektan.

Desinfeksi yang paling banyak digunakan sekarang adalah desinfeksi menggunakan khlor, selain lebih efektif karena mampu mereduksi virus, juga paling murah diantara desinfektan lain terutama untuk jaringan distribusi.

Khlor adalah gas yang mempunyai potensial oksidasi tinggi (1,49 volt). Selain itu mempunyai daya tembus yang

besar pada dinding sel mikroorganisme dan dibanding desinfektan lain lebih stabil.

Selain mempunyai sifat baik juga mempunyai sifat buruk yaitu menimbulkan bau yang tidak sedap. Juga mudah berubah oleh perubahan pH dan temperatur. Selain itu juga menyebabkan terganggunya pernapasan pada konsentrasi lebih dari 3 ppm.

Jenis-jenis klor yang sering dipakai sebagai desinfektan adalah

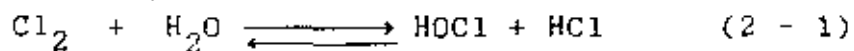
a. Gas Klorine.

Gas ini berbentuk cair pada tekanan tinggi dan suhu rendah. kadar khlornya 100%.

b. Hipokhlorit.

Bentuk senyawa klor yang potensial oksidasinya tinggi. Hipokhlorit dapat dihasilkan dari sodium hipoklorit (NaOCl), Kalsium hipokhlorit (Ca(OCl)_2) atau kaporit, Kalsium dikloroksida (CaOCl_2). Dari ketiga jenis ini kaporit mempunyai keistimewaan yaitu mudah larut dalam air dan lebih stabil.

Reaksi gas klorine dengan air akan membentuk asam hipokhlorit (HOCl) dan asam klorida.



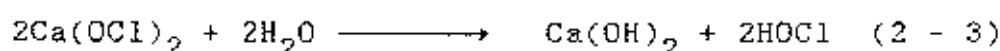
pada pH lebih besar dari 3 reaksi akan bergerak ke kanan dan

sangat kecil molekul khlorine gas akan kembali terlarut dan tak bereaksi. Asam hipokhlorite akan terdisosiasi menjadi ion hipokhlorit.

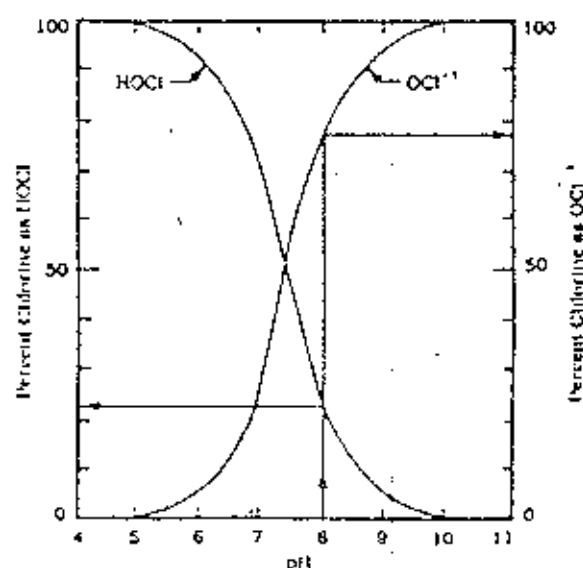


Distribusi dari HOCl dan OCl^- Fungsi dari pada pH seperti ditunjukkan pada gambar 2 - 2

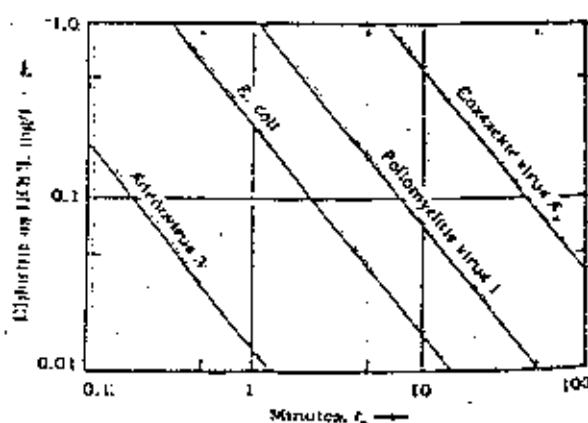
Kaporit dalam air akan terlarut dan membentuk



OCl^- akan lemah dalam keseimbangan dengan Ion H^+ sehingga dalam lokam renang ketika hipokhlorite digunakan sebagai disinfektan maka diperlukan penambahan asam agar keberadaan hipokhlorit lebih banyak. Hal ini dikarenakan asam hipokhlorit lebih efektif sebagai disinfektan dari pada ion hipokhlorit (Engelbrecht). Keefektifan dalam membunuh mikroba dapat dilihat pada gambar 2 - 3.



GAMBAR 2 - 2
DISTRIBUSI KHLORINE SEBAGAI HOCl
DAN OCl^- PADA SUHU 20°C VS pH.
(Diambil dari Reynold, T. D. "UNIT
OPERATION AND PROCESSES IN ENVI-
RONMENTAL ENGINEERING")



GAMBAR 2 - 3 :
KONSENTRASI VS WAKTU KONTAK UN-
TUK DAYA BUNUH HOCl TERHADAP E.
COLI DAN TIGA VIRUS OLEH HOCl
PADA SUHU 0°-5°C.
(diambil dari Reynold, T. D., UNIT
OPERATION AND PROCESSES IN ENVI-
RONMENTAL ENGINEERING)

2.1.2. Dampak Khlorinasi.

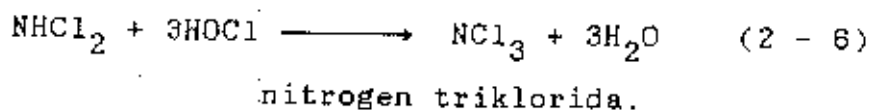
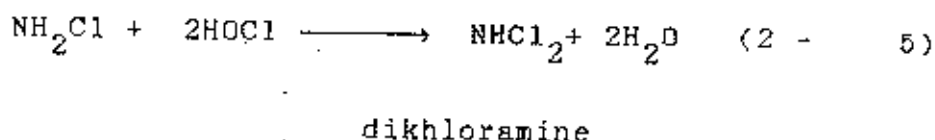
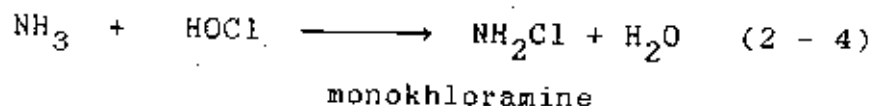
2.1.2.1. Dampak Terhadap Lingkungan.

Studi yang dilakukan oleh Esvelt dkk (pustaka 10) menunjukkan bahwa khlorinasi memberikan efek toksisitas yaitu pada sisa khlornya. Brung (pustaka 10) juga mendukung dengan studi toksisitas pada ikan sebagai studi dasarnya. Akhirnya dia menetapkan bahwa 0,01 mg/l sebagai konsentrasi yang masih aman untuk ikan. Tetapi untuk ikan yang sensitif seperti ikan salmon dan trout batas itu sekitar 0,002 mg/l.

2.1.2.2. Dampak Terhadap Kesehatan Manusia.

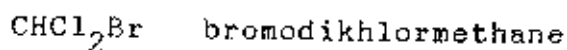
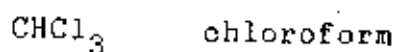
Khlor bebas dalam air merupakan bentuk yang aktif. Zat ini dapat keluar ke udara melalui proses difusi. Selain itu juga membentuk senyawa *Chlorinated Hidrokarbon* dan khlor-

amine yang reaksinya sebagai berikut :



Jumlah dari khloramine yang dibentuk umumnya adalah fungsi dari keberadaan asam hipokhlorit dan pH. Monokhloramine lebih dominan pada pH 6 dan dikhloramine pada pH 5.

Reaksi juga terjadi ketika khlor dipergunakan untuk mengurangi material organik. Khlor terlarut akan bereaksi dengan asam sulfida membentuk sulfat dan asam khlorida. Reaksi dengan kelompok organik dan kelompok partikel tidak jenuh. Reaksi terpenting adalah dengan kelompok phenol. Dan juga terhadap senyawa kelompok *trihalomethane*. Khloro-phenol memberikan bau dan rasa yang tak diinginkan pada air yang dapat dibau dan dirasa pada konsentrasi lebih rendah dari 1mg/l. Reaksi khlor dengan substansi humic akan menghasilkan trihalomethane seperti :



CHClBr_2 dibromokhlormetane

Kelompok senyawa ini keberadaannya harus sangat kecil dalam air minum yaitu dibawah 0,1 mg/l, sebab mempunyai efek *Carcinogenik*.

Kedua macam senyawa yang diakibatkan khlor bebas tersebut adalah anggota kelompok bahan-bahan bersifat *carcinogenik*. Dengan kompleknya kandungan zat di air baku, maka Khlorinasi membawa dampak yaitu terbentuknya trihalomethane dan kelompok organo khlorine yang membawa akibat serius terhadap kesehatan. Apalagi sistim distribusi masih memungkinkan air dari lingkungan sekeliling masuk ke pipa distribusi. Baik disebabkan karena pipa bocor atau pipa yang telah tua. Selain itu kelebihan khlor sendiri (untuk maksud disinfeksi) juga mengandung kelemahan terutama bagi konsumen di bagian yang dekat dengan instalasi. Bau yang tak sedap dan kemungkinan gangguan terhadap kulit juga perlu diwaspadai.

Untuk itu sebelum dikonsumsi di rumah-tangga konsumen, air sebaiknya dihilangkan khlorinanya sebagai langkah awal untuk penjagaan terhadap kemungkinan diatas.

2.2. Deklorinasi

Penggunaan khlor sebagai desinfektan dan sebagai penghilang zat organik (amonia) pada pengolahan air akan membawa khlor berlebih. Selain itu penambahan khlor di awal treatment untuk reduksi bau dan rasa juga menimbulkan sisa khlor.

Dari uraian diatas, residu khlor yang dirasa mengganggu karena berlebih, maka kelebihanannya dapat dihilangkan (dekhlorinasi). Deklorinasi khlor dapat menggunakan metode-metode ini:

1. Penambahan bahan kimia pereduksi seperti : Na_2SO_3 .
2. Penggunaan karbon aktif granular.
3. Aerasi.

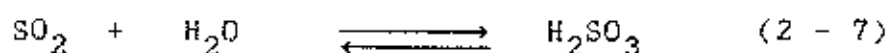
Penggunaan karbon aktif dirasa lebih praktis dan mempunyai manfaat sampingan selain mampu menghilangkan sisa khlor juga mampu menyerap derivat khlor yang lain. Seperti kita ketahui sebelumnya trihalomethane berbahaya untuk kesehatan, maka dengan penggunaan karbon aktif ini diharapkan keberadaannya bisa dihilangkan sampai ke tingkat yang tidak berbahaya.

2.2.1. Beberapa Metode Deklorinasi.

a. Deklorinasi Menggunakan Kelompok Sulfur.

Cara yang umum mereduksi sisa khlor adalah menggunakan kelompok sulfat pada valensi 4⁺. Sulfur oksida yang sangat populer digunakan, karena alasan pembiayaan yang menguntungkan. Deklorinasi menggunakan SO₂ pada effluent kedua setelah disinfeksi, biaya akan sekitar 1,2 sampai 1,3 kali pembiayaan dari khlorinasi.

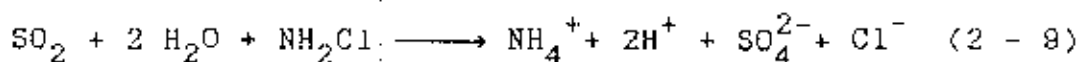
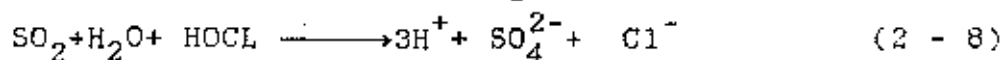
Reaksi pelarutan gas SO₂ dalam air seperti berikut :



H₂SO₃ akan terionisasi menjadi HSO₃⁻ dan SO₃⁻² yang konsentrasi relatif dari dari spesies ini tergantung pada pH.

NaHSO₃ dan Na₂SO₃ juga digunakan dalam proses ini, tetapi pada umumnya lebih mahal dari gas SO₂.

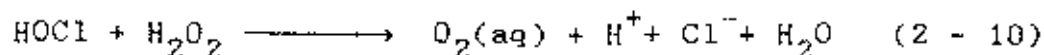
Menurut White (pustaka 10) reaksi antara asam hipokhlorit dan khloramine dengan SO₂ adalah sebagai berikut :



b. Deklorinasi Menggunakan Hidrogen Peroksida.

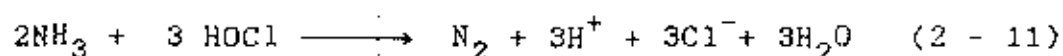
Hidrogen peroksida jarang digunakan untuk dekhlorinasi, meskipun mempunyai hasil yang dapat diandalkan. Reaksi

dengan hipokhlorit menurut *Mischenko* sebagai berikut :



c. Dekhlorinasi Menggunakan Amonia Dan Besi Sulfat.

Menurut White (pustaka 10) amonia dapat digunakan untuk menghilangkan khlorine melalui reaksi brekpoint



atau digunakan mengubah khlorine sebagai khlorine kombinasi. Reaksi lama sekitar 20 menit pada pH 7 - 7,5.

Ion besi (Fe^{2+}) dapat juga digunakan sebagai bahan untuk dekhlorinasi, tetapi ini digunakan dalam situasi yang sangat jarang sebab memerlukan tahap pengendapan. Ion Fe^{2+} akan dioksidasi oleh khlor menjadi Fe^{3+} yang sulit larut dalam air yang mana sangat bagus sebagai koagulan. Sedimentasi dan atau filtrasi akan diperlukan untuk menghilangkannya dari air. Menurut White reaksi Fe^{2+} lebih cepat dengan khlorine bebas dan monokhloramine dari pada dikhloramine.

d. Dekhlorinasi Menggunakan Karbon Aktif.

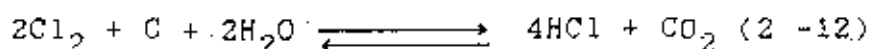
Dekhlorinasi dengan menggunakan karbon aktif telah diawali di Inggris pada tahun 1910. Prinsipnya adalah penghilangan khlorine, tetapi pada kenyataannya juga mampu

meremovel kombinasi dari klorine.

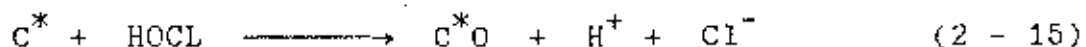
2.2.2. Deklorinasi Menggunakan Karbon Aktif.

Kemampuan karbon untuk menyerap khlor sudah diketahui sejak lama. Penelitian mengenai hal ini banyak dilakukan. Kesemuanya belum memperoleh hasil yang bisa dipakai secara umum. Hal ini disebabkan karena reaksi yang terjadi sangat tergantung oleh jenis khlor yang digunakan juga reaksi adalah gabungan antara adsorbsi dan reaksi kimia antara air dan gas khlor bebas.

Reaksi kimia yang terjadi antara khlor dengan karbon menurut Hans Pick (pustaka 5) adalah :



Magee dan Puri B.R (pustaka 10) menyebutkan bahwa reaksi antara karbon dan khlor bebas seperti berikut :



C^* adalah karbon aktif yang direaksikan dan C^*O adalah surface oxide. Magee menyebutkan bahwa ketika khlorine bebas pertama kali kontak dengan karbon aktif, saat permulaan akan terbentuk Cl mengisi permukaan karbon aktif. Akan tetapi setelah periode waktu tertentu produksi khlorida yang dihasilkan dari reaksi, seimbang secara stoikhiometri untuk

meremoval dari larutan di reaktor. Dan ini juga didukung oleh observasi Snoeyink dan kawan-kawan (pustaka 10)

Penurunan pH akibat pembentukan ion H^+ dapat digunakan sebagai dasar analisa dekhlorinasi. Penyesuaian pH ini dapat digunakan untuk mengukur besarnya proses dekhlorinasi.¹

Hal yang masih menjadi masalah adalah jika khlorine tersedia yang digunakan dalam bentuk gas. Hidrolisa khlorine dalam bentuk gas memproduksi H^+ ketika ditambahkan ke air. Gejala ini menurut Johnson perlu studi lebih lanjut.

Dasar dari reaksi adalah memprediksi bahwa tak ada ion H^+ yang terbentuk ketika OCl^- direaksikan sebagai $HOCl$. Akan tetapi menurut Olsen, Bunning dan Snoeyink (pustaka 10) telah terjadi penurunan pH, sehingga tidak dapat sebagai alat ukur.

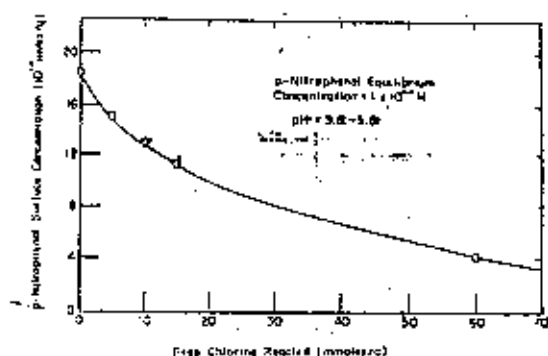
Penurunan pH ketika OCl^- terbentuk dari khlorine bukanlah alasan bahwa reaksi tak dapat ditentukan. Penggunaan perlengkapan untuk membentuk surface oxide dalam bentuk kelompok carboxil (pustaka 10) yang selanjutnya ion H^+ dapat diproduksi adalah cara untuk untuk dapatnya dilakukan pengukuran.

¹Produksi surface oxide sangat penting untuk reaksi dekhlorinasi karena efeknya sebgus adsorbsi organik dari

karbon. Menurut Magee (pustaka 10) sifat oxide ini tak stabil karena dapat menjadi CO_2 yang dapat lepas dari larutan. Tetapi kejadian ini jarang terjadi (keberuntungan) karena mungkin berhubungan dengan umur karbon selama dekhlorinasi!

Sebenarnya hanya sedikit oksida permukaan yang terbentuk melalui persamaan 2 - 15 dan dititrasi dengan NaOH. Korespondensi satu-satu sangat diharapkan antara oksida yang diproduksi dan khlorine. Akan tetapi hanya 1,5 - 2 mmole dari titran oksida yang terbentuk dari 15 mmole/gram yang direaksikan. Kemungkinan yang terjadi adalah oksida terbentuk sementara yang lain tidak tertitrasi dengan NaOH.

Oksida permukaan yang dihasilkan dari reaksi dengan khlorine ini juga mempengaruhi reaksi dari kelompok organik. Artinya bahwa gejala penurunan ini akibat terserapnya khlor bebas oleh karbon aktif. Gejala ini dapat dilihat pada gambar 2 - 4 di bawah ini.



GAMBAR 2-4
HUBUNGAN ANTARA PHENOL
DAN KHLOR BEBAS YANG DI
REAKSIKAN PADA REAKTOR
KARBON AKTIF.

Gambar 2 - 4 menunjukkan penurunan kapasitas karbon untuk p nitrophenol sebagai fungsi dari dari jumlah khlorine yang direaksikan.

Dari uraian literatur diatas bahwa gejala dekhlorinasi ini adalah proses adsorpsi tetapi tidak sepenuhnya. Reaksi kimia antara khlor bebas dengan air juga termasuk di dalamnya.

2.3. ADSORPSI.

Karena gejala dekhlorinasi juga merupakan gejala adsorpsi untuk itulah teori adsorpsi kita tinjau disini.

Secara umum peristiwa adsorbsi dapat diartikan sebagai

peristiwa fisika yang melibatkan akumulasi antar fase pada permukaan suatu bahan (Weber, 1972). Partikel yang diserap disebut adsorbat dan media yang menyerap disebut adsorben. Proses ini berlangsung pada permukaan antara dua phase, seperti : liquid-liquid, solid-liquid, ataupun gas-solid.

Adsorpsi yang terjadi pada permukaan adsorben dapat berupa :

1. Adsorpsi fisika
2. Adsorpsi kimia

2.2.1 Adsorpsi fisika.

Adsorpsi ini mirip dengan proses kondensasi dan biasanya terjadi pada temperatur rendah. Pada proses ini gaya yang menahan molekul-molekul fluida pada permukaan solid relatif lemah dan besarnya sama dengan gaya kohesi molekul pada fasa cair (gaya Van Der Walls). Sedangkan energi panas yang dilibatkan selama proses mempunyai derajat yang sama dengan panas kondensasi dari gas menjadi cair, yaitu sekitar $2,19 \sim 21,9 \text{ K J/mol}$ (Weber, 1972). Keseimbangan antara permukaan solid dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat reversibel.

2.2.2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi ini bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Panas yang dilibatkan adalah sama dengan panas reaksi kimia. Menurut Langmuir molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul (*Weber 1972*).

Karena adanya ikatan kimia, maka pada permukaan adsorben akan terbentuk suatu lapisan/layer, yang lama kelamaan dapat mengurangi efektifitas penyerapan oleh adsorben.

2.2.3. Adsorpsi Isotherm.

Dalam sistim solid-liquid adsorpsi ini menyatakan adsorpsi yang terjadi dalam bulk-liquid pada suhu konstan. Pada kondisi kesetimbangan terjadi distribusi larutan antara fase liquid dengan fase solid (*Weber 1972*). rasio dari distribusi tersebut merupakan fungsi konsentrasi dari larutan. Pada umumnya, jumlah material yang diserap per satuan berat dari adsorben bertambah sejalan dengan bertambahnya konsentrasi, meskipun tidak berbanding lurus. Beberapa model dari adsorpsi isotherm yang diketahui adalah :

1 Langmuir

2 Freundlich

3 Brunaur, Emmet & Teller (BET)

2.3.1. Model Langmuir.

Pertama kali dikembangkan untuk proses penyerapan gas pada permukaan solid. Model ini berdasarkan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Energi dari adsorpsi adalah konstan dan tidak tergantung pada sifat permukaan.
- Adsorpsi terjadi tanpa disertai interaksi antar molekul-molekul adsorbat.
- Adsorpsi maximum terjadi pada saat terbentuknya monolayer yang menyeluruh pada permukaan adsorben.

Pada sistim solid-liquid persamaan Langmuir dirumuskan sebagai berikut (Verloo, 1987) :

$$q_c = \frac{Q^0 K C}{1 + K C} \quad (\text{Pers 2 - 16})$$

$$1/q_c = 1/Q^0 + (1/KQ^0)(1/C) \quad (\text{Pers 2 - 17})$$

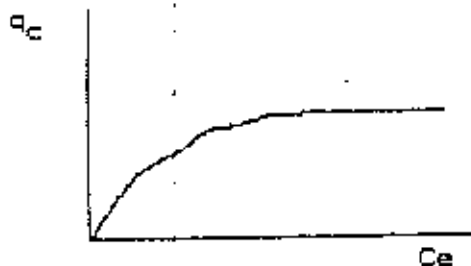
yang mana q_c : berat adsorbat yang diserap per satuan berat adsorben

Q^0 : adsorpsi maksimum

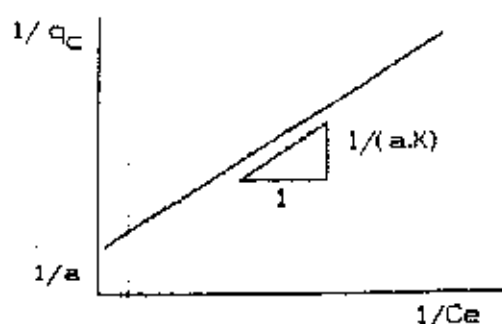
K : Konstanta energi entalphy

C : Konsentrasi kesetimbangan fase liquid
(mg/l).

Hubungan antara q_c dan C dapat dilihat pada gambar 2 - 5 yang mana kenaikan nilai C mula-mula akan sebanding dengan kenaikan nilai q_c , sedangkan pada suatu nilai batas C tertentu nilai q_c akan menjadi konstan. Hal ini berarti nilai q_c telah mencapai kondisi maksimum. Pada gambar 2 - 6 ditunjukkan hubungan linier antara $1/C$ dan $1/q_c$ dengan intercept $1/Q$ dan slope $1/(BQ)$.



GAMBAR 2 - 5 : HUBUNGAN q_c DAN C PADA ADSORPSI LANGMUIR



GAMBAR 2 - 6 : HUBUNGAN LINIER ANTARA $1/q_c$ DAN $1/C$ MODEL LANGMUIR.

2.3.2. Model Freundlich.

Persamaan ini berlaku umum dengan hasil yang cukup memuaskan bila diterapkan pada larutan encer. Disebut juga persamaan Van Bemmelen yang dirumuskan sebagai berikut

$$q_c = K_f C^{1/n} \quad (\text{Per 2 - 18})$$

$$\ln q_c = \ln k_f + 1/n \ln C \quad (\text{Per 2 - 19})$$

yang mana

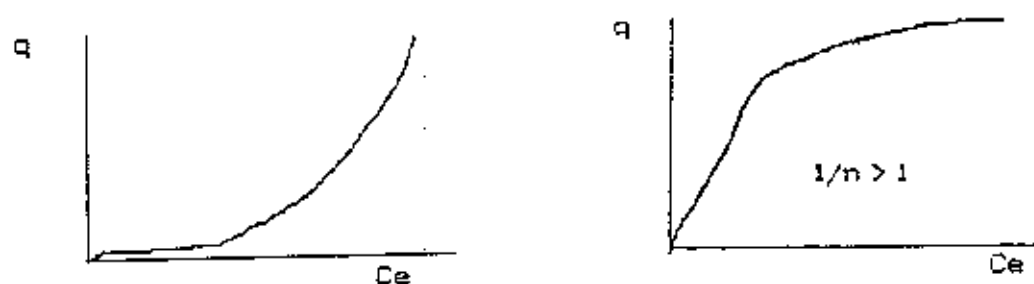
q_c : berat adsorbat yang diserap per satuan berat adsorben.

C : konsentrasi pada saat kesetimbangan (mg/l)

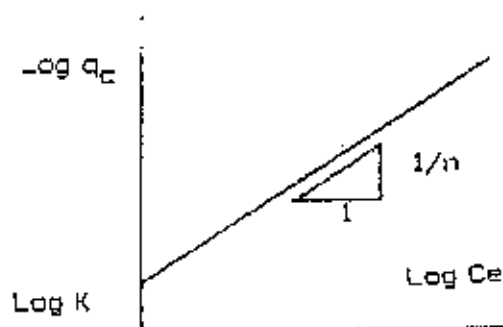
K_f : konstanta

Pada gambar 2 - 7 ditunjukkan hubungan antara q_c dengan C

pada konstanta $1/n$ dan $1/n < 1$, sedangkan pada gambar 2 - 8. Plot $\ln q_c$ pada sumbu x dan $\ln C$ pada sumbu Y akan menghasilkan slope $1/n =$ intensitas adsorpsi dan intercept $\ln K_f =$ kapasitas adsorpsi.



GAMBAR 2 - 7 : HUBUNGAN q_c DAN C PADA FREUNLICH.



GAMBAR 2 - 8 : PENENTUAN KONSTANTA ADSORPSI OLEH FREUNLICH

2.3.3. Model Brunauer, Emmet & Teller (BET)

Model ini tidak banyak diterapkan untuk larutan encer,

karena hasilnya kurang memuaskan. Perumusan dari model berdasarkan asumsi-asumsi :

- Energi adsorpsi adalah seragam pada permukaan.
- Sejumlah lapisan terbentuk dari molekul adsorbat pada permukaan dan pada tiap-tiap lapisan tersebut berlaku persamaan Langmuir.
- Molekul teradsorpsi tidak bermigrasi pada permukaan solid.

$$q_c = \frac{B C Q^0}{(C_s - C) \{ 1 + (B-1) (C/C_s) \}} \quad (\text{Per 2 -20})$$

$$\frac{C}{(C_s - C)q_c} = \frac{1}{B Q^0} + \left\{ \frac{(B - 1)}{B Q^0} \right\} \left\{ \frac{C}{C_s} \right\} \quad (\text{Per 2 -21})$$

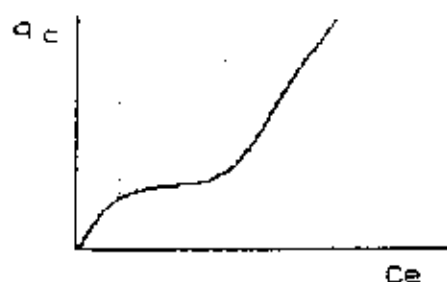
dimana q_c = berat adsorbat yang diserap per satuan berat adsorben

C_s = konsentrasi jenuh adsorbat

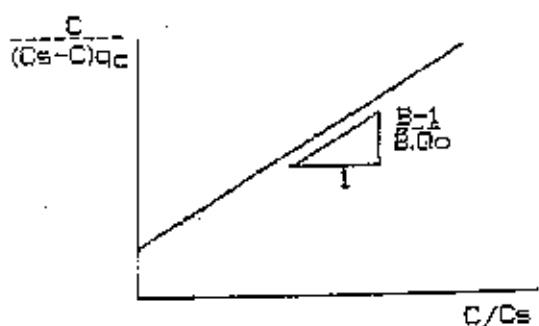
Q = jumlah mol solute teradsorp per satuan berat adsorben untuk membentuk monolayer pada permukaan solid.

B = konstanta energi

Hubungan antara q_c dengan C dapat dilihat pada gambar 2 - 9 dan gambar 2 - 10.



GAMBAR 2 - 9 : HUBUNGAN q_c DAN C PADA MODEL (B E T)



GAMBAR 2 - 10 : PENENTUAN KONSTANTA ADSORPSI OLEH (BET)

2.4. Rate Reaksi Deklorinasi.

2.4.1. Teori Magee.

Penggunaan teori adsorpsi isothermis kurang memuaskan untuk menjelaskan gejala deklorinasi. Pembentukan Oksida

permukaan bisa digolongkan sebagai reaksi kimia. Jadi bisa dikatakan sebagai penyerapan kimia (chemisorption).

Magee mempelajari studi reaksi antara khlor bebas dengan karbon pada sebuah kolom. Beliau menemukan hubungan umum yang konsisten dengan rate dari reaksi permukaan sebagai langkah Pelimitan rate (rate-limiting step).

Dari sini beliau menemukan bahwa rate removal dapat dilukiskan sebagai Reaksi Orde 1.

$$dC/dt = -kC \quad (\text{Per 2 - 22})$$

Untuk kondisi dimana konsentrasi $C = C_0$ pada saat $t = 0$ setelah diintegrasikan menjadi :

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (\text{Per 2 - 23})$$

Waktu t adalah waktu kontak larutan khlor dengan karbon.

2.4.2. Teori Hans Pick.

Persamaan Pick (pustaka 5) melukiskan peristiwa de-klorinasi yang bentuknya sebagai berikut :

$$\log \frac{C}{C_0} = k \frac{L^{1/2}}{V} \quad (\text{Per 2 - 24})$$

Yang mana : C_0 = Konsentrasi khlor bebas pada inlet

C = Konsentrasi khlor bebas pada outlet.

L = Panjang bed

k = konstanta.

V = flow rate.

Langkah pokok dari adsorpsi khlor bebas adalah adsorpsi khlor bebas dalam bentuk asam hipokhlorit pada permukaan karbon. Dekomposisi dari asam hipokhlorit berhubungan dengan bentuk asam hidrokhlorit dan *nascent oxygen*. Asam hidrokhlorit tidak siap untuk diserap dan meninggalkan larutan sementara chemisorbed oksigen terbentuk dari kompleks oksigen pada permukaan karbon. Surface oxide ini yang akan mengurangi proses dekhlorinasi.

Teori ini sama dengan teori yang dikemukakan oleh Magee dan peneliti lain yang telah diuraikan diatas.

Dari keterangan diatas dapat diusulkan bahwa dekhlorinasi dikontrol oleh sebuah reaksi kimia yang lambat pada permukaan. Maka dekomposisi HOCl pada persamaan diatas dapat dimodifikasi menjadi :

$$\log \frac{C}{C_0} = k_1 \frac{L}{V} \quad (\text{Per 2 - 25})$$

Dari studi k_1 lebih kecil dari pada k , hal ini dikarenakan persamaan ini dibentuk untuk memberikan faktor keamanan.

2.5. Pengoperasian Reaktor.

Setelah mengetahui tentang kemampuan atau laju dari deklorinasi. Perlu diketahui pula cara pengoperasian reaktor sebagai dasar untuk melakukan penelitian di laboratorium. Cara pengoperasian reaktor ada 2 macam yaitu sistim batch dan kontinyu.

2.5.1. Pengoperasian Secara Batch.

Pada umumnya bila menggunakan sisim ini sejumlah adsorben diagitasikan dalam suatu bejana dengan sejumlah volume adsorbat. Biasanya digunakan adsorben dalam bentuk granular. Selama berlangsungnya proses, konsentrasi dari larutan akan turun karena terjadi reksi fisika dan kimia dengan adsorbent. Setelah jangka waktu tertentu penurunan konsentrasi dari solute akan mencapai harga yang maksimum, dimana pada saat itu terjadi kejenuhan dari adsorben untuk melakukan penyerapan. Dengan kata lain telah terjadi keseimbangan antara adsorpsi dan desorpsi. Operasi dihentikan dan diperlukan regenerasi untuk mengaktifkan kembali adsorban.

Kelemahan dari sistim ini adalah sulitnya diterapkan untuk penanganan air minum dari jaringan distribusi sebab

akan banyak memakan tenaga teknik khusus serta waktu yang akan menyulitkan pemakai di rumah tangga. Dan secara teknis untuk menyediakan reaktornya dirasa sangat tidak praktis.

Percobaan dengan sistim ini akan mendapatkan data mengenai kemampuan dari adsorben untuk menyerap khlor atau tepatnya rate reaksi penyerapan yang terjadi. Sistim ini hanya digunakan di laboratorium untuk memperkirakan besarnya kemampuan adsorpsi tersebut.

2.5.2. Pengoperasian Secara Kontinyu.

Pengaliran Kontinu adalah suatu model laboratorium yang digunakan sebagai dasar untuk mendesain suatu unit bangunan/ peralatan . Pada sistim ini adsorben secara terus menerus dikontakkan dengan larutan yang masih segar. Ditinjau dari model arah alirannya dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Fixed bed flow :

Aliran influent secara grafitasi akan mengalir melewati media bed. Sistim ini banyak diterapkan untuk debit pengolahan yang besar. Sedangkan penyusunan reaktornya dapat dilakukan secara seri.

2. Counter Current moving bed :

Influen mengalir secara upflow dari dasar kolom, sedangkan adsorben ditambahkan secara terus menerus dari atas kolom atau kedua material dikontakkan secara berlawanan.

3. Expanded/fluidized bed :

Influen mengalir secara up-flow melewati media bed dengan kecepatan konstan, sehingga media akan terexpansi.

Penelitian secara kontinu dilakukan untuk memperoleh data-data perencanaan untuk diterapkan pada reaktor fix bed.

2.6. Kurva Breakthrough.

Percobaan dengan continuous flow akan menghasilkan suatu Kurva Breakthrough, yaitu suatu kurva yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi solute effluent yang dihasilkan setelah melalui kolom dengan volume effluent dibagi waktu secara kumulatif. Bentuk dari grafik ini mirip dengan kurva S, yang mana bentuk ini dipengaruhi oleh konsentrasi solute, ukuran diameter partikel, flow rate, kedalaman bed dan lain-lain.

Titik dimana pada kurva tersebut solute mencapai nilai

maksimum yang dimungkinkan, yaitu 5 % C_0 disebut *breakpoint*. Sedangkan titik dimana konsentrasi solute effluent mencapai 95 % C_0 disebut point of Kolom exhaustoin. Pada umumnya waktu breakpoint akan turun sebanding dengan :

- bertambahnya partikel media bed
- bertambahnya konsentrasi solute pada influent.
- bertambahnya pH dari larutan.
- berkurangnya kedalaman bed.

Penurunan konsentrasi solute dalam kolom mula-mula sangat besar dan makin lama kecepatan penurunannya akan mengecil. Hal ini dikarenakan media tersebut mulai jenuh dan ruang pori sudah tak mampu menyerap lagi, sehingga diperlukan regenerasi untuk mengaktifkan kembali media tersebut seperti kondisi semula.

2.7. Zone Penyerapan (Sorption Zone).

Panjang dari kolom dimana adsorpsi terjadi disebut *sorption zone* (Z_s). Pada zone ini solute akan ditransfer dari fase liquid ke fase solid.

Pada gambar no 2 - 11 ditunjukkan pergerakan dari *sorption zone*. Diatas adsorption Zone solute dalam fase cair akan berada dalam keadaan setimbang dengan yang diserap

oleh adsorben dalam fasa padat. Karena terjadi kejenuhan akibat pengoperasian yang terus menerus, maka zone adsorpsi akan bergerak turun ke bawah. Titik brekpoint dicapai tepat ketika zone adsorpsi mencapai dasar kolom. Pada kondisi ini kemampuan adsorpsi berkurang dengan sangat cepat. Akibatnya konsentrasi solute effluent akan menjadi bertambah besar sampai suatu saat hampir mencapai C_0 , yaitu saat dimana regenerasi perlu dilakukan.

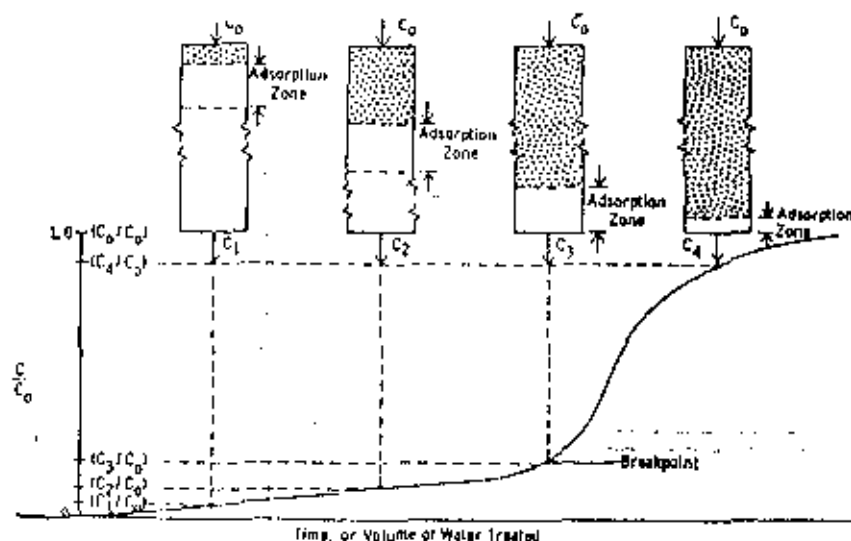
Panjang efektif dari adsorption zone adalah sebanding dengan tinggi kolom total (Reynold, 1982), dengan perumusan sebagai berikut :

$$Z_s = t \frac{V_z}{(V_t - 0,5V_z)} \quad (\text{Per 2 - 26})$$

yang mana : Z_s = sorption zone

Z = Tinggi adsorbent dalam kolom

V_z = Volume antara titik exhaustion (V_t)
dengan Volume breakthrough.



GAMBAR 2 - 11 :
 ADSORPTION ZONE DAN KURVA BREAKTHROUGH PADA FASE
 CAIR - PADAT.

2.8. Disain Reaktor.

Untuk mendisain kolom ada dua macam teori yang disebutkan oleh literatur. Teori Transfer massa dan teori reaksi permukaan. Teori transfer massa mengasumsikan bahwa zone adsorpsi dengan bentuk dan kecepatan yang konstan bergerak diseluruh bed kolom. Reaksi ini dikontrol oleh external mass transfer. Teori reaksi permukaan didasari atas asumsi bahwa adsorpsi dikontrol reaksi permukaan antara adsorbat dan kapasitas dari solid (adsorben). Model ini berdasarkan teori Bohart-Adam. Model merupakan bentuk yang

sederhana dari fix bed adsorption column. Model yang mendasarkan pada teori ini adalah model Scale Up, Kinetik dan Bohart-Adam.

Disain reaktor untuk dekhlorinasi sangat sulit didekati bila digunakan perumusan Magee ataupun Pika. Untuk dilakukan pendekatan dari pendekatan adsorpsi yang ada. Hal ini juga dimungkinkan oleh Clup R karena pendekatan yang dilakukan tergantung kondisi percobaan.

2.8.1. Metode Scale Up.

Metode ini dikembangkan oleh *Fornwalt dan Hutchins (1966)* untuk desain kolom adsorpsi. Prinsip dari disain ini adalah data percobaan kurva breakthrough dari kolom test percobaan. Besaran-besaran yang diperlukan adalah :

Q_b : Flowrate (Bed volume per unit waktu)

Besaran ini sama antara percobaan dan desain. Jadi bila didisain flowrate Q maka design *Volume bed (BV)* adalah :

$$BV = \frac{Q}{Q_b} \quad (\text{Per 2 - 27})$$

Q_b biasanya antara 0,2 sampai 3 bed volume per jam.

Waktu kontak T_c sebanding dengan e/Q_b yang mana e

adalah fraksi dari pori. Apabila waktu kontak sama dengan pada percobaan, maka volume dapat diasumsikan sebagai \bar{V}_B (*Volume cairan yang terolah per unit massa adsorben*).

Cara memperoleh nilai \bar{V}_B menggunakan persamaan berikut :

$$M = BV (\rho_s) \quad (\text{Per 2 - 28})$$

M adalah massa adsorben sedangkan ρ_s adalah bulk densitynya.

$$\bar{V}_B = \frac{V_B}{M} \quad (\text{Per 2 - 29})$$

V_B (Volume breakthrough) yang ditentukan dari konsentrasi effluent yang diharapkan C_a .

Massa karbon yang perlu dikeluarkan per jam karena habis daya adsorptnya M_t dihitung sebagai berikut

$$M_t = \frac{Q}{\bar{V}_B} \quad (\text{Per 2 - 30})$$

$$T = \frac{M}{M_t} \quad (\text{Per 2 - 31})$$

2.8.2. Pendekatan Kinetik.

Persamaan kinetik didasari pada penurunan oleh Thomas (1948). Persamaan kinetik juga diturunkan oleh Bohart & Adam (1928), Loebenstein.W.V (1975).

Eksperimen dari Thomas adalah sbb :

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_o M - C_o V)}} \quad (\text{Per 2 - 32})$$

$$1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_o M - C_o V)} = \frac{C_o}{C} \quad (\text{Per 2 - 33})$$

Bila dilinierkan menjadi :

$$\ln \left(\frac{C_o}{C} - 1 \right) = \frac{k_1 q_o M}{Q} - \frac{k_1 C_o V}{Q} \quad (\text{Per 2 - 34})$$

yang mana : C_o = konsentrasi pada influent.

C = konsentrasi pada effluent.

k_1 = konstanta rate

q_o = kemampuan penyerapan karbon maksimum.

M = Massa adsorbent.

V = volume yang keluar.

Q = debit.

2.8.3. Pendekatan Bohart-Adams.

Dasar dari pendekatan ini adalah teori kecepatan reaksi sbb:

$$\ln (C_o/C_p - 1) = \ln (e^{kNo X/V} - 1) - KCot \quad (\text{Per 2 - 35})$$

yang mana C_o = konsentrasi influent (lb/ft^3)

C_p = Konsentrasi yang ditentukan untuk dari la-

rutan untuk breakthrough (lb/ft^3)

K = Konstanta kecepatan ($\text{ft}^3 \text{ liquid/lb karbon - jam}$).

N_o = Kapasitas adsorpsi dari karbon (lb/ft^3)

X = Ketinggian karbon (ft)

V = Kecepatan linier aliran (ft/jam, gpm/ft^2)

t = Waktu penggunaan kolom pada kondisi tersebut (jam).

Bila $e^{K N_o X/V} \gg 1$ maka

$$\ln (C_o/C_e - 1) = \ln e^{K N_o X/V} - K C_o t \quad (\text{Per 2 - 36})$$

jika

$$\ln e^{K N_o \frac{X}{V}} = K N_o \frac{X}{V}$$

kita memiliki bentuk :

$$\ln (C_o/C_e - 1) = K N_o X/V - K C_o t \quad (\text{Per 2 - 37})$$

yang mana ini sama seperti :

$$V \ln (C_o/C_e - 1) = K N_o X - K C_o t V$$

persamaan suku kiri dikalikan N/N_o dibagi untuk kedua suku dengan $K N_o$ maka :

$$\frac{V}{K N_o} \ln (C_o/C - 1) = X - \left(\frac{V C_o t}{N_o} \right) \quad (\text{Per 2 - 38})$$

$$t = \frac{N_o}{C_o V} X - \frac{1}{C_o K} \ln (C_o/C - 1) \quad (\text{Per 2 - 39})$$

Bentuk 2 - 39 dapat digunakan untuk menentukan waktu

penggunaan (t) dari tinggi kolom yang telah ditentukan. N_o , C_o dan K harus ditentukan dengan untuk operasional pada kolom di laboratorium pada range kecepatan V .

Jika $t = 0$ maka penyelesaian persamaan 2 - 39 menjadi :

$$X_o = \frac{V}{KN_o} \ln \left(\frac{C_o}{C_b} - 1 \right) \quad (\text{Per 2 - 40})$$

yang mana X_o adalah tinggi minimum untuk memproduksi konsentrasi C_b . Nilai ini digunakan sebagai tinggi adsorpsi.

2.8.4. Pendekatan Dengan Model Transfer Massa.

Weber (1972) menggunakan pendekatan disain ini dengan data batch dari Laboratorium untuk mendesain adsorpsi kontinyu. Dengan konsep Michaels (1952), data batch proses untuk pertama kali ditransport pada kurva breakthrough teoritik yang dipergunakan sebagai dasar dari desain.

Jumlah adsorbat pada karbon dihubungkan dengan jumlah adsorbat dalam larutan adalah :

$$\left[\frac{x}{m} \right] = \frac{C}{C_o} \left[\left[\frac{x}{m} \right]_o - \left[\frac{x}{m} \right]_r \right] : \left[\frac{x}{m} \right]_r \quad (\text{per 2 - 41})$$

yang mana :

$\left[\frac{x}{m} \right]$: Jumlah adsorbat pada karbon (lb/lb)

$\left[\frac{x}{m} \right]_o$: Nilai dari $\left[\frac{x}{m} \right]$ pada keseimbangan dengan konsentrasi C_o .

konsentrasi C antara C_B dan C_E dan dapat ditulis sbb :

$$h = \frac{F_W}{K_B} \int_{C_B}^C \frac{dC}{(C - C^*)} \quad (\text{per 2 - 45})$$

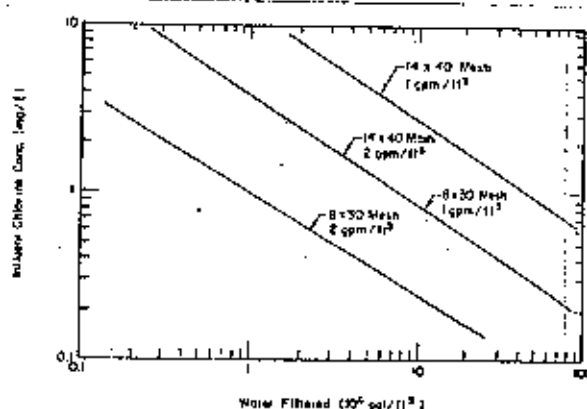
Persamaan 2 - 45 dibagi 2 - 44 diperoleh :

$$\frac{h}{ht} = \frac{\int_{C_E}^C \frac{dC}{(C - C^*)}}{\int_{C_B}^{C_E} \frac{dC}{(C - C^*)}} = \frac{V - V_B}{V_E - V_B} \quad (\text{pers 2 - 46})$$

Grafik dari persamaan diplotkan untuk memperoleh breakthrough teoritis dan menentukan karakteristik pengoperasian dari kolom adsorpsi.

2.8. Umur Bed Deklorinasi Dan Regenerasi.

Dari desain dapat kita ketahui berapa umur bed yang diperoleh kedua metode diatas. Untuk memberikan gambaran tentang umur bed pada deklorinasi *Hagar & Flence* dengan percobaanya memberikan kurva seperti pada gambar berikut :



GAMBAR 2-12
HUBUNGAN ANTARA HASIL FILTRASI DENGAN DIAMETER PADA OVER-
FLOWRATE TERTENTU.

Sayangnya tidak ada informasi yang diperoleh dari prosedur yang digunakan untuk mengembangkan kurva ini. Para peneliti ini menggunakan konsentrasi 0,01 mg/l khlor untuk menentukan breakthrough dari bed kolom.

Penentuan ini merupakan fungsi dari pengaruh konsentrasi khlorine, hidrolik loading rate, temperatur, pH, ukuran partikel karbon aktif. Perhitungan dibuat pada konsentrasi 1 mg/l khlorine bebas. 1gr dari karbon aktif ukuran 8 x 30 mesh direaksikan dengan 0,28 dan 2,1 gr khlorine dengan loading rate 2 dan 1 gpm/ft³. Sementara 1gr karbon pada ukuran 12 x 40 mesh direaksikan dengan 2,1 dan 12,5 gr khlorine dengan loading rate 2 dan 1 gpm/ft³. Dari hasil percobaan 2,1 gr khlorine yang direaksikan dengan 1gr karbon

pada 1 gpm/ft³ umurnya dapat mencapai 12,5 tahun. Yang mana tinggi bed adalah 2,5 ft. Periode ini sangat panjang dan regenerasi dapat lebih cepat bila penyerapan terhadap kandungan lain seperti bahan organik yang ada pada air juga terjadi.

Jika persamaan reaksi 2 - 15 benar berlangsung maka hanya 5,9 gr khlorine bebas yang terserap tiap gram karbon sebelum masing-masing atom karbon terkomposisi dengan sebuah atom oksigen jika diasumsikan karbon aktif 100% karbon. Tetapi masing-masing atom karbon dapat 2 atom oksigen, Jadi 17,5 gr khlorine /gr karbon adalah menunjukkan nilai yang maksimum. Type oksida yang terbentuk ini penting dalam keadaan ini. Jika reaksi mendekati ini, maka semua karbon telah terkonversi menjadi CO dan CO₂. Dan yang utama dari konfersi ini partikel karbon akan terpecah dan partikel-partikel kecil akan lolos dari bed dan warna menjadi air menjadi gelap.

Regenerasi untuk karbon hanya bisa baik dengan suhu diatas 400° C. Sehingga sangat tidak praktis untuk diterapkan pada instalasi skala besar. Dan untuk Skala kecil seperti untuk rumah tangga dapat diandalkan, karena umur yang panjang akan akan lebih murah ongkos operasinya.

$[\frac{x}{m}]_r$: Jumlah residu adsorbat pada karbon setelah re-generasi.

Dengan asumsi karbon adalah baru, $[\frac{x}{m}]_r$ sama dengan 0 dan persamaan menjadi

$$[\frac{x}{m}] = \frac{C}{C_0} [\frac{x}{m}]_0 \quad (\text{pers 2 - 42})$$

Menurut Weber (1972) rate transfer dari larutan bergantung pada diferensial dari tinggi dh, diperoleh dengan

$$Fv dC = Ka (C - C^*) dh \quad (\text{pers 2 - 43})$$

yang mana :

Fv = Flow rate dari larutan (lb/min-ft²)

Ka = Koefisien transfer massa

C^* = Konsentrasi keseimbangan dari solute di di larutan.

Bentuk $(C - C^*)$ untuk adsorpsi sama dengan perubahan antara garis operasi dan kurva keseimbangan pada nilai dari $[\frac{x}{m}]$.

Integral persamaan dan menyelesaikan tinggi dari zone adsorpsi

$$ht = \frac{Fv}{Ka} \int_{C_B}^{C_E} \frac{dC}{(C - C^*)} \quad (\text{per 2 - 44})$$

dimana C_B : Konsentrasi dari larutan di effluent saat break-through.

C_E : Konsentrasi dari larutan pada saat exhaustion.

Untuk nilai H lebih kecil dari pada ht, terkorespodensi pada

BAB III

MATERIAL DAN METODOLOGI

Penyusunan metodologi dan material yang diperlukan sangat perlu untuk memperjelas pelaksanaan ide. Dengan metode yang tepat ide akan lebih sistimatis dalam mewujudkannya. Selain itu tahapan penelitian akan lebih mudah dilaksanakan. Arah yang jelas menuju ke kesimpulan dari ide penelitian ini akan bisa terbaca dengan jelas.

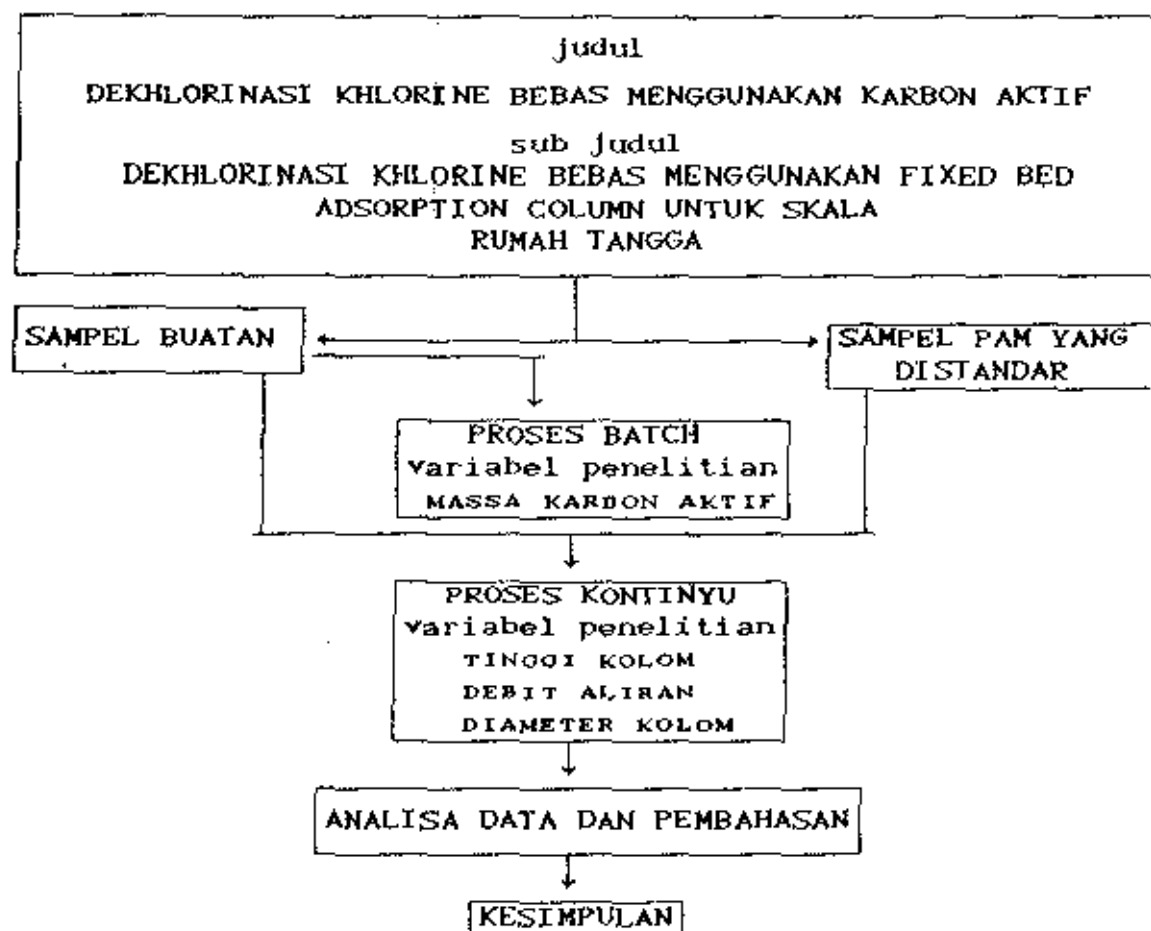
Dalam bab ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian ini yaitu :

1. Kerangka penelitian
2. Material yang dibutuhkan.
3. Metode untuk melaksanakan penelitian.

3.1. Kerangka Penelitian.

Kerangka penelitian adalah diagram yang menerangkan langkah-langkah penelitian yang dilakukan. Diagram ini merupakan gambaran ringkas dari ide dasar dari penelitian ini. Kerangka penelitian dapat dilihat pada gambar 3 - 1 berikut ini :

KERANGKA PENELITIAN



CATATAN : PENGUKURAN MENGGUNAKAN ANALISA DPD-FAS.

GAMBAR 3-1 : DIAGRAM KERANGKA PENELITIAN

3.2. Material.

3.2.1. Bahan - bahan.

3.2.1.1. Adsorbent.

Adsorbent yang digunakan adalah karbon aktif yang mana kemampuan menyerap Klor bebas (HOCl) dan membentuk oksida permukaan lebih baik dari karbon biasa.

a. Karbon Aktif.

Karbon aktif yang digunakan adalah yang ada di pasaran yang dapat dibeli di toko-toko bahan kimia.

Digunakan dua jenis yang diperkirakan harga paling murah

1. Karbon aktif import (Belanda) dengan harga Rp 15 000,00 tiap kilogram.
2. Karbon aktif lokal dengan harga sekitar Rp 6 000,00.

Jenis pertama telah dilengkapi dengan spesifikasi sedangkan yang kedua tidak ada. Untuk itu diperlukan metode untuk spesifikasikarbon jenis ini.

b. Penyisapan media.

Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif jenis granular dan sebelum digunakan karbon aktif dicuci dengan agudest. Kemudian setelah itu dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama sehari menghilangkan uap air yang terpe-

rangkap.

3.2.1.2. Larutan Sampel.

Dalam penelitian ini digunakan larutan standart khlorine dari Kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$). Diharapkan dari larutan ini terbentuk klor bebas sehingga dapat terjadi reaksi yang diharapkan.

3.2.1.3. Reagent Yang Digunakan.

Untuk mengukur besarnya adsorbsi digunakan pengukuran dengan menggunakan metode Analisa Klor Aktif. Metode asam basa sebenarnya dapat digunakan, berhubung sangat sulit dalam pengukuran penurunan pH maka metode tidak kami gunakan.

Metode Analisa Khlor Aktif yang kami gunakan adalah metode DPD-FAS. Metode ini mempunyai batas deteksi lebih baik dari metode Iodometri.

Reagent yang diperlukan adalah :

a. Larutan bufer fosfat.

Dibuat dengan melarutkan :

24 gr Na_2HPO_4 (tanpa kristal) + 46gr KH_2PO_4 (tanpa kristal) dalam air suling ± 200 ml. Kemudian ditambahkan 100

ml air suling yang mengandung 800 mg EDTA yang terlarut di dalamnya. Semua masuk ke labu takar 1l kemudian diisi air suling sampai mencapai 1l. Terakhir ditambahkan \pm 20 mg HgCl_2 untuk mencegah timbulnya jamur.

b. Larutan Indikator DPD.

Kedalam Labu takar 0,5l yang berisi \pm 200 ml air suling yang mengandung 4ml H_2SO_4 (1 : 3) dan 100 mg EDTA + 0,75 gr DPD sulfat. Isi labu sampai 500 ml. Dan disimpan dalam botol kaca warna coklat. Bila warna berubah larutan harus dibuang.

c. Standart Feroamoniumsulfat (FAS) titran.

Kedalam labu takar 1l dilarutkan 1,106 gr $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ \pm 200 ml air suling + 0,8 ml H_2SO_4 pekat. Kemudian diisi dengan air suling sampai 1l.

d. Larutan Kromat.

1,1226 gr $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ p.a. (yang telah dikeringkan pada suhu 105°C selama 2 jam) dilarutkan dalam air suling pada labu takar 0,1l.

e. H_2SO_4 Pekat.

Larutan ini bersama dengan larutan kromat digunakan untuk standarisasi larutan FAS.

3.2.2. Peralatan Yang Dipakai.

a. Gelas beker

1. 1000 ml 8 buah, untuk proses batch
2. 100 ml untuk tempat titran selama titrasi.

b. Gelas ukur.

1. 1l, untuk mengukur sampel proses batch.
2. 100 ml, untuk mengukur sampel saat dianalisa.

c. Corong kaca.

Untuk memasukkan titran kedalam buret dan tempat menyaring hasil proses.

d. Buret dan mikroburet.

1. 25 ml untuk titrasi standarisasi.
2. 10 ml untuk titrasi FAS.

e. Erlenmeyer 250 ml untuk titrasi..

f. Kertas saring kasar, untuk menyaring hasil proses yang akan dianalisa.

g. Kolom adsorpsi.

h. Bak penampung sampel air untuk tempat sampel saat proses kontinu.

i. *Pro pipet*

j. *Stop Watch.*

3.3. Metodologi.

Karena banyaknya variable reaktor maka dalam penelitian ini maka perlu diadakan pemilihan variable reaktor yang berpengaruh terhadap hasil penelitian.

Variable reaktor untuk proses batch sebenarnya banyak sekali seperti pH, temperatur, konsentrasi khlor bebas, derajat pengadukan, serta proses lain yang mungkin mengiringinya seperti proses transfer gas. Untuk pH dan temperatur digunakan keadaan normal pada saat penelitian. Dan untuk konsentrasi khlor bebas dipergunakan konsentrasi yang kemungkinan terbesar ada pada air minum dari PAM. Karena hal ini pasti akan berhubungan dengan penelitian peta isokonsentrasi khlor bebas pada jaringan distribusi, maka konsentrasi terbesar kami ambil 3 ppm. Sedangkan untuk konsentrasi tinggi tidak kami teliti sebab titik berat penelitian ini pada air minum. Sedangkan pengaruh transfer gas hanya kami tunjukkan keberadannya.

Variabel proses kontinyu yang digunakan adalah *tinggi kolom*. Variabel ini sangat dipengaruhi oleh luas permukaan

dari kolom yang dipakai. Dengan kata lain dipengaruhi oleh volume reaktor. Oleh sebab itu luas permukaan kolom dibuat tetap, sehingga variabel tinggi saja yang dipakai. Selain itu debit penyaringan mempengaruhi juga. Variasi tinggi kolom dan debit penyaringan kami gunakan untuk menentukan waktu kontak yang akan memperoleh konsentrasi akhir khlor yang diinginkan. Yaitu konsentrasi khlor bebas mendekati tak ada pada filtrat.

3.3.1. Sistem Pengoperasian Reaktor.

Sistem pengoperasian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Proses Batch.
2. Proses Kontinu dengan Fixed bed Adsorption Column.

Dari hasil batch proses akan diketahui rate reaksi karbon yang digunakan untuk membentuk surface oxide. Sedangkan dari hasil Continuous Flow akan didapat data-data sebagai dasar perencanaan reaktor dekhlorinasi yang digunakan untuk pengolahan air dengan khlor bebas berlebih.

3.3.1.1. Batch Proses.

Proses batch dilakukan dengan mereaksikan 11 larutan

khlor bebas dengan variasi berat karbon. Jadi berat karbon menjadi variabel. Dari masing-masing berat karbon yang diraksikan dilakukan dalam variabel waktu yaitu dari 0 jam sampai 3 jam.

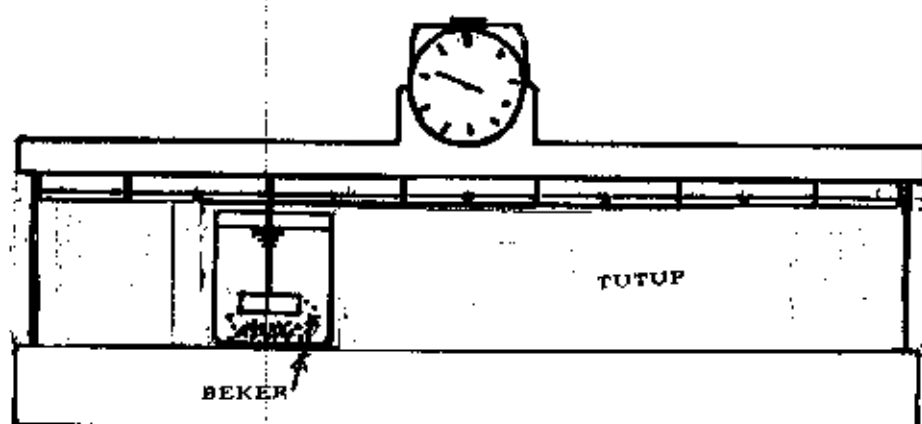
Dari proses ini diharapkan akan diperoleh data penurunan konsentrasi awal melawan variabel waktu. Dari data ini akan diperoleh rate reaksi dari masing-masing berat karbon dan pada akhirnya memperoleh rate reaksi karbon yang digunakan sebagai percobaan.

a. Penyiapan Karbon Aktif.

1. Karbon aktif yang akan digunakan ditimbang 1gr, 2gr, 4gr, 6gr. Masing-masing resep dibuat 6 kali, kemudian dimasukkan ke plastik ukuran kecil dan direkat untuk tiap resep.

b. Penyiapan Reaktor Batch Proses.

1. Disiapkan alat jar test.
2. Disiapkan beker gelas ukuran 1l sebanyak 6 buah.
3. Dibuatkan ruang isolasi pada alat jar test seperti gambar 3 - 2 dibawah ini.



GAMBAR 3-2:
REAKTOR BATCH PROSES

Ruangan ini dimaksudkan untuk mengisolasi panas. Tutup atas dan dindingnya dibuat dari bahan karton tak tembus cahaya. Pada bagian atas diberi lubang sebagai jalan untuk masuk poros putar alat jar test. Bentuk ini sebenarnya juga akan mengurangi proses transfer massa seberapa besar perbedaannya dengan model tanpa penghalang tidak kami teliti disini.

c. Pelaksanaan Proses.

1. Beker glas diisi aquadest 800 ml.
2. Untuk masing-masing beker glas dimasukkan larutan klor bebas 2,4 ml / konsentrasi 3 ppm.
3. Diletakkan pada alat jar test dan diputar 100 rpm selama + 60 detik, untuk meratakan larutan.
4. Karbon aktif yang di run dimasukkan ke masing-masing beker, misal untuk berat 1 gr.
4. Setelah mulut beker ditutup dengan karton dilakukan pengadukan dengan kecepatan 15 rpm (pengadukan lambat). Untuk proses dilakukan mulai 30 menit, 60, 90, 120, 150, 180 menit.

d. Analisa Konsentrasi Klor Bebas Hasil Proses

1. Setelah selesai proses seperti waktu yang ditentukan. Dengan corong dan kertas saring hasil diukur

100 ml.

2. Analisa dengan metode DPD-FAS.

3.3.1.2. Uji Pengaruh Pengadukan Pada Penurunan Konsentrasi Klor Bebas.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengadukan terhadap penurunan konsentrasi klor bebas dilakukan percobaan dengan berbagai derajat pengadukan. Dari sini secara terpisah dapat dilihat berapa besar sebenarnya adsorpsi yang dilakukan karbon aktif terhadap klor bebas.

Langkah percobaan ini sebagai berikut :

1. Disiapkan alat jar tes seperti pada proses batch.
2. Beker glas diisi dengan larutan klor dengan konsentrasi 3 ppm sebesar 800 ml.
3. Keenam beker glas diaduk dengan rpm tertentu yaitu 15 rpm, 60 rpm,
4. Setiap setengah jam diperiksa konsentrasi akhir dari masing-masing beker.

3.3.1.3. Proses Kontinu.

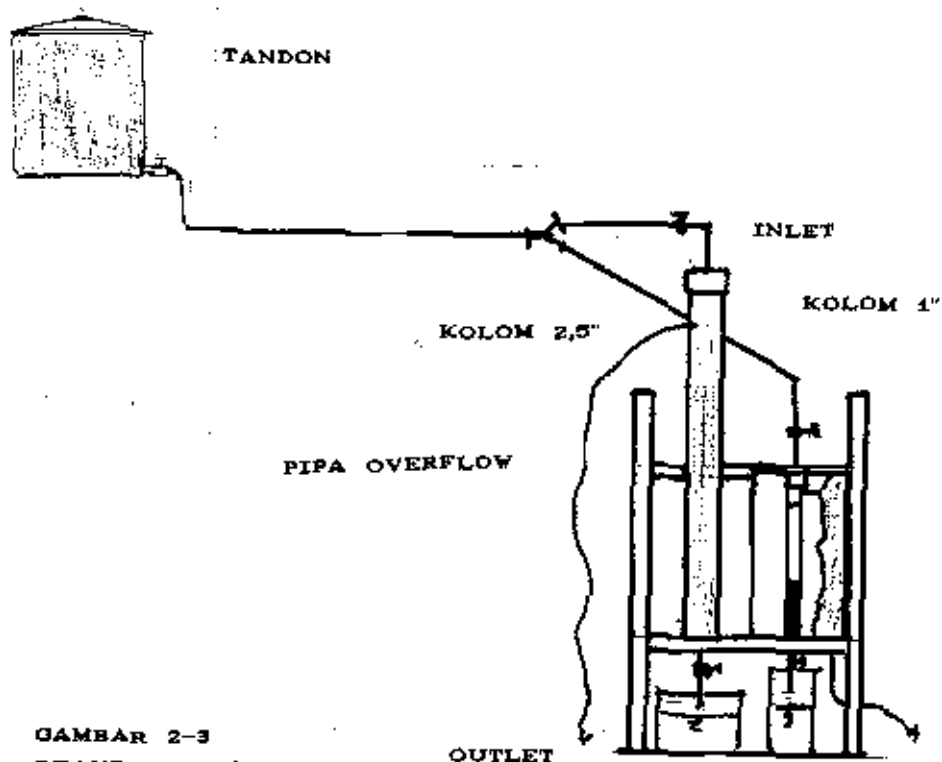
Proses kontinu selain untuk mendapatkan rate reaksi juga dipergunakan untuk memperoleh data disain. Untuk mempe-

roleh rate reaksi dilakukan percobaan dengan tinggi karbon dan debit pengaliran yang diubah-ubah.

Percobaan untuk memperoleh kurva breakthrough juga dilakukan sebagai bagian dalam menentukan data-data disain. Percobaan ini dilakukan hanya untuk membuktikan adanya ketepatan model-model adsorpsi untuk memodelkan proses dekhlorinasi ini.

Untuk Proses Kontinu kami mencoba menggunakan bentuk 2 reaktor :

Reaktor kecil dari gelas dengan diameter dalam 1" volume 200 ml dan 2,5" yang bentuknya sebagai berikut :



GAMBAR 2-3
REAKTOR KONTINYU

Cara melaksanakan percobaan sebagai berikut :

Langkah percobaannya sebagai berikut :

1. Percobaan untuk penentuan rate reaksi.

- a. Sampel buatan dimasukkan ke tandon.
- b. Karbon aktif yang akan diuji dimasukkan ke kolom dengan tinggi yang telah ditentukan.
- c. Dengan debit yang tertentu dilakukan pengaliran sampai filtrat cukup untuk dianalisa.
- d. Diulangi untuk debit yang lain.

2. Percobaan untuk memperoleh data model Bohart & Adam.

Untuk memperoleh data modelnya hal yang perlu adalah waktu kontak untuk mencapai konsentrasi dibawah konsentrasi yang akan dipakai sebagai breakthrough. Pada percobaan ini konsentrasi breakthrough pada konsentrasi 0,05 mg/l.

Maka dilakukan percobaan untuk memperoleh waktu kontak yang dapat mengolah sampai dibawah nilai yang ditetapkan.

2a. Percobaan untuk memperkirakan tinggi kolom agar konsentrasi khlor bebas tak ada.

- a. Dengan mencoba-coba tinggi kolom dan juga debit filtrasi akan diperoleh perkiraan waktu kontak

dengan konsentrasi effluent mendekati 0.

2b. Percobaan untuk memperoleh data model Bohart/Adam.

- a. Setelah diperoleh t (waktu) minimum untuk memperoleh konsentrasi effluent dibawah standart. Dilakukan pengaliran dengan flowrate tertentu. Pada percobaan ini adalah 1 gpm/ft^2 . Dengan diameter kolom yang dipakai diperoleh debit pengaliran.
- b. Pada tinggi tertentu diatas standart diatas dilakukan pengaliran dan pemeriksaan dari jam ke jam sampai konsentrasi mencapai breakthrough.
- c. Langkah b diulangi untuk ketinggian yang berbeda.

3. Percobaan untuk memperoleh data pada Pendekatan Kinetik.

- a. Percobaan yang dilakukan adalah untuk memperoleh kurva breakthrough. Untuk itu dilakukan penentuan debit pengaliran dan tinggi kolom sehingga kejenuhan tidak terlalu lama.
- b. Pada percobaan ini tinggi karbon 2 cm dan debit sekitar 4 sampai 5 ml/mnt.
- c. Setiap 2 jam dilakukan pengukuran konsentrasi akhir dan inflent. Konsentrasi inflent selalu dibuat

tetap.

4. Percobaan untuk menentukan rate reaksi pada sampel asli digunakan sebagai contoh.

Percobaan dilakukan seperti pada percobaan 1.

5. Percobaan untuk membuktikan ketepatan model.

Dilakukan dengan kolom besar sebagai penerapan dari data pada model kecil. Reaktor yang dipakai adalah reaktor 2,5" dari pipa paralon. Percobaan dilakukan dengan untuk penerapan model yang dipakai.

- a. Karbon aktif dimasukkan pada kolom sesuai dengan hasil disain dan dilakukan pengaliran.
- b. Pada saat akhir (umur reaktor) dilakukan pengukuran konsentrasinya.
- c. Pengukuran dilanjutkan sampai konsentrasi akhir mencapai breakthrough.

3.3.2. Analisa Titrimetri Untuk Konsentrasi Klor Bebas.

Dari tinjauan pustaka ion H^+ terbentuk dari proses dekhlorinasi khlorine menunjukkan penurunan pH. Penurunan pH ini dititrasi dengan larutan standart NaOH. Besarnya

konsentrasi titran setara dengan surface oxide yang menempel pada karbon aktif.

Berhubung sangat sulit melaksanakan apa yang tertulis pada literatur tersebut, selain karena petunjuk percobaannya tidak diberikan juga pH meter digital yang tersedia memberikan nilai pH pada waktu yang cukup lama. Padahal analisa khlor bebas perlu waktu cepat.

Untuk praktisnya kami menggunakan metode penentuan konsentrasi awal dan konsentrasi akhir sebagai ukuran hasil. Metode DPD-FAS sangat akurat untuk mengukur khlor bebas. Sebab selain mengukur khlor bebas juga mampu mengukur khlor terikat.

Prosedur pengukuran sebagai berikut :

1. Dengan pro pipet diambil bufer phospat sebanyak 5 ml kemudian dimasukkan ke erlenmeyer 250 ml.
2. Demikian juga untuk Indikator DPD.
3. Dengan gelas ukur 100 ml ambil sampel kemudian dimasukkan ke erlenmeyer. Bila sampel lebih dari 5 ppm perlu diencerkan. Sampel yang konsentrasinya lebih dari 5 ppm akan menunjukkan warna merah tetapi setelah dikocok akan hilang warnanya.
4. Dititrasi dengan tiosulfat pada mikroburet sampai warna

merah yang terbentuk hilang untuk pertama kali.

3.3.3. Analitical Quality Control.

Analisa ini adalah sebuah analisa untuk menjamin ketepatan dan ketelitian dari pengukuran. Analisa ini mengandung dua pengertian yaitu akurasi dan presisi. Ketelitian atau akurasi adalah perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai rata-rata. Sedangkan presisi adalah penyebaran dari data-data pengukuran yang dihasilkan terhadap nilai rata-rata. Hasil dari analisa ini dapat dilihat pada lampiran.

3.3.4. Spesikasi Karbon Aktif.

Spesifikasi dilakukan untuk karbon aktif lokal karena tidak ada informasi spesifikasinya. Percobaan dilakukan untuk :

1. Gradasi
2. Berat jenis.

3.3.4.1. Gradasi Media.

Pengukuran gradasi media dilakukan untuk melihat gradasi pada media. Pengukuran dilakukan dengan mengambil

100 gr media kemudian di masukkan kedalam ayakan yang telah disusun sesuai dengan nomor-nomornya dari diameter besar sampai ke diameter kecil, selanjutnya digetarkan selama 15 menit. Dari sini dicatat ada tidaknya butiran pada ayakan. Percobaan dilakukan pada karbon aktif lokal karena tidak ada spesifikasinya.

3.3.4.2. Berat jenis.

Percobaan ini untuk mengetahui berat karbon aktif kering pada volume tertentu. Percobaan dilakukan dengan memasukkan karbon aktif pada gelas ukur pada volume tertentu. Pemadatan yang dilakukan disamakan. Dari sini ditimbang beratnya. Percobaan dilakukan berkali-kali dan nilai rata-rata yang digunakan.

3.3.4. Metoda Pengolahan Data.

Pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan regresi linier. Pada batch proses penetapan nilai rate reaksi menggunakan metode regresi linier yang merupakan bentuk linier dari grafik eksponensial. Untuk mengetahui ketepatan dari persamaan yang digunakan untuk memodelkan dilakukan analisa korelasi.

Pada proses kontinyu analisa regresi juga dilaksanakan sebagai pengolahan data untuk model-model yang digunakan.

Rumus yang dipakai untuk menghitung regresi adalah :

$$y = A + Bx \quad \text{yang mana}$$

$$\text{Nilai } B = \{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y\} / \{n \sum x^2 - (\sum x)^2\}$$

$$A = \sum y - Bx / n$$

nilai Koefisien determinasi $R = r^2$ yang mana r adalah koefisien korelasi yang besarnya adalah.

$$r = \{n \sum xy - \sum x \sum y\} / \{(n \sum x^2 - (\sum x)^2) (n \sum y^2 - (\sum y)^2)\}^{1/2}$$

Untuk perhitungan dilakukan dengan kalkulator FX 4000 P.

Berikut ini hubungan nilai R dengan dengan kekuatan hubungan. ditunjukkan. (lihat tabel 3-1).

TABEL 3-1 : DAFTAR NILAI R DAN KEKUATAN KORELASINYA.

No	Nilai r^2	Kekuatan hubungan
1	0.15 - kurang	lemah
2	0.16 - 0.3	lemah
3	0.31 - 0.41	cukup
4	0.42 - 0.63	kuat
5	0.64 atau lebih	kuat

BAB IV

ANALISA DATA STUDI DAN PEMBAHASAN

4.1. PROSES BATCH.

4.1.1. Analisa Rate Reaksi.

Pemakaian Rate Reaksi didasarkan pada kenyataan hubungan antara penurunan konsentrasi dengan bertambahnya waktu. Reaksi yang terjadi menurut Magee mirip dengan reaksi kimia Orde Pertama. Dari persamaan 2 -7 reaksi orde pertama dinyatakan sebagai berikut :

$$dC/dt = -kdt$$

bila kemudian diintegrasikan dengan C dari C_0 ke C_e dan dari t_0 ke t menjadi :

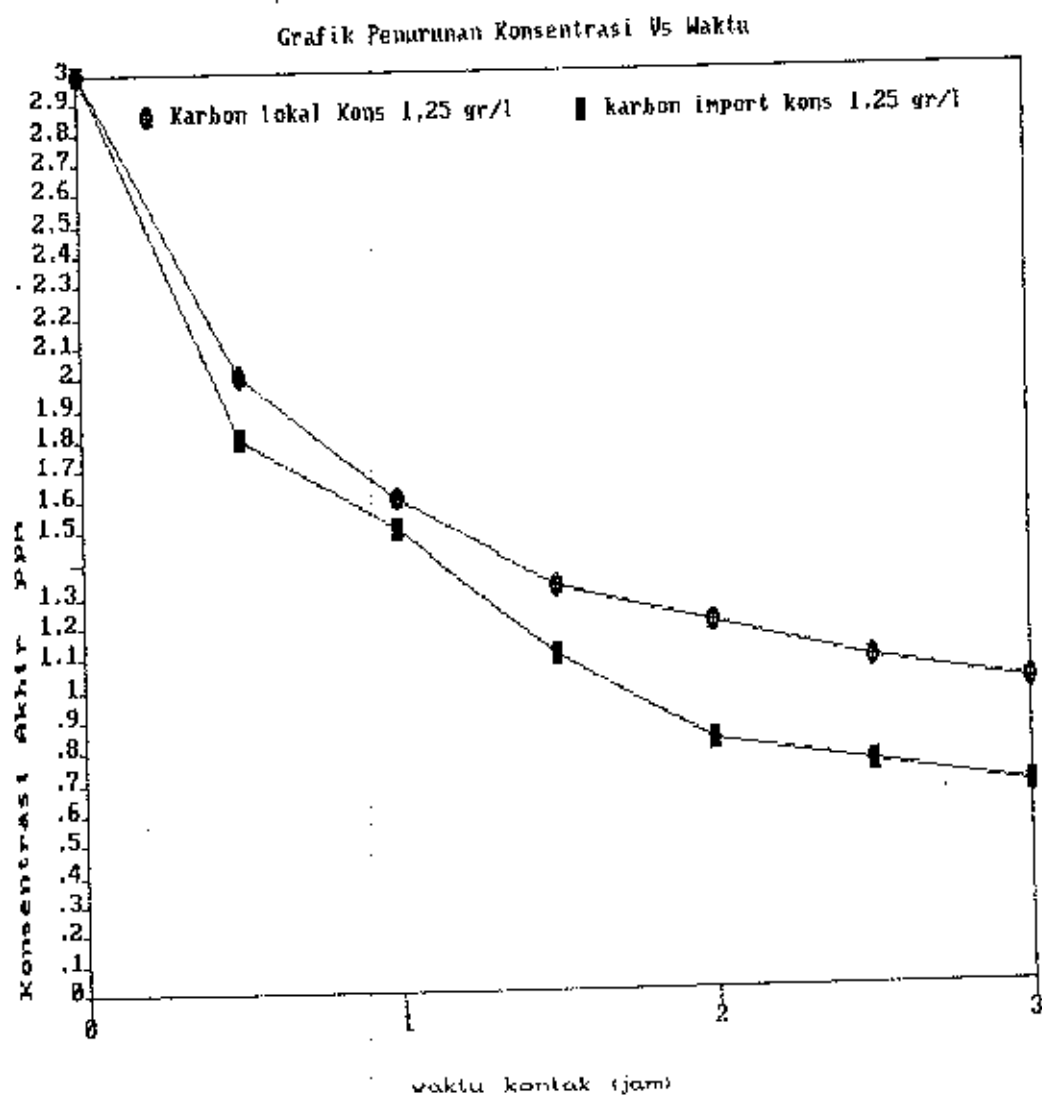
$$\ln C_e/C_0 = -kt$$

persamaan ini mirip dengan persamaan garis regresi

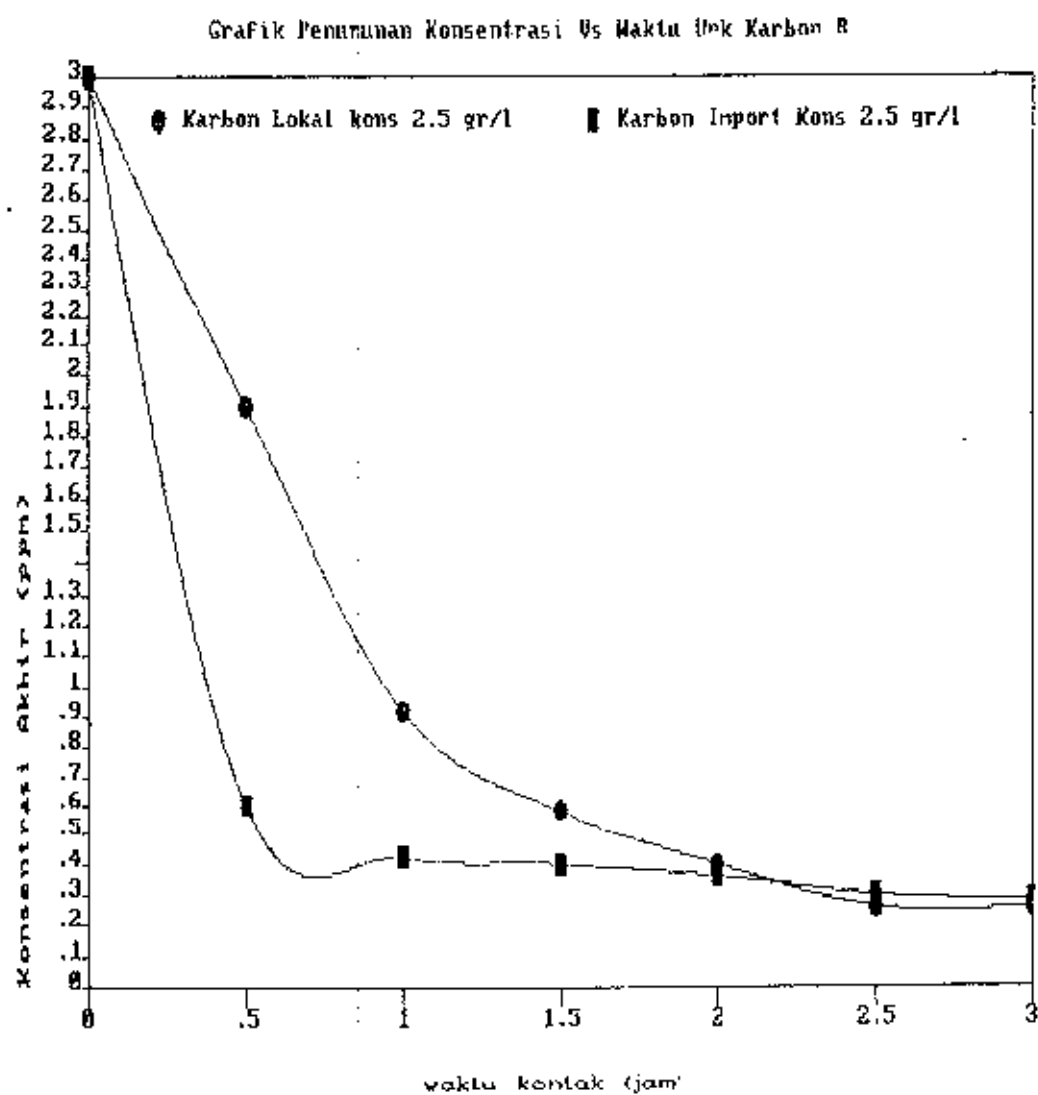
$$y = a + bx$$

Yang mana C_0 dan C_e adalah konsentrasi pada $t = 0$ dan $t = x$, nilai x adalah variabel.

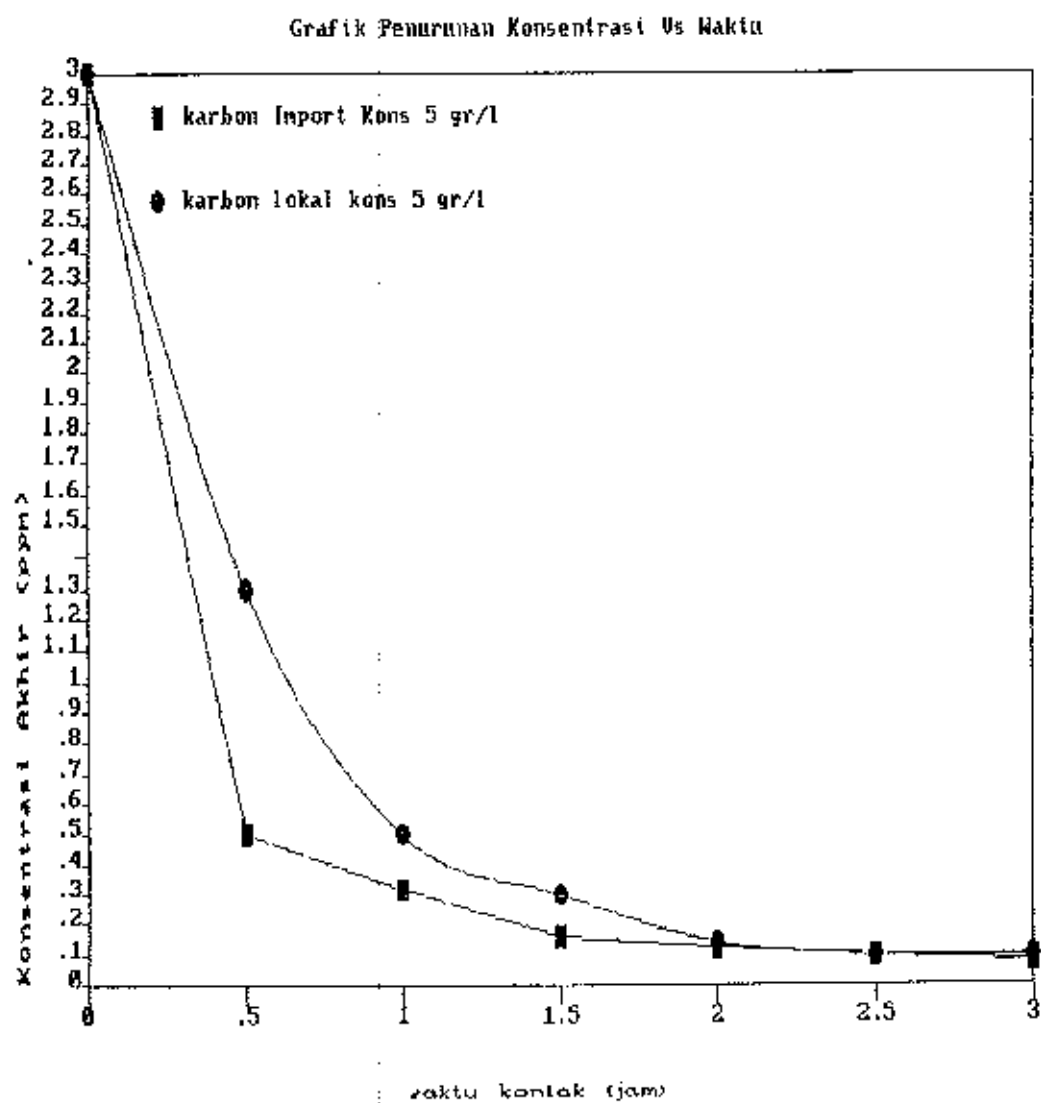
Pada grafik 4-1 sampai 4-4 adalah kurva yang terbentuk dari reaksi antara khlor bebas dan karbon aktif dari waktu ke waktu (data pada Lampiran 1-1 sampai 1-8) terlihat kecenderungan reaksi secara eksponensial, maka persamaan diatas dapat digunakan sebagai analisa.



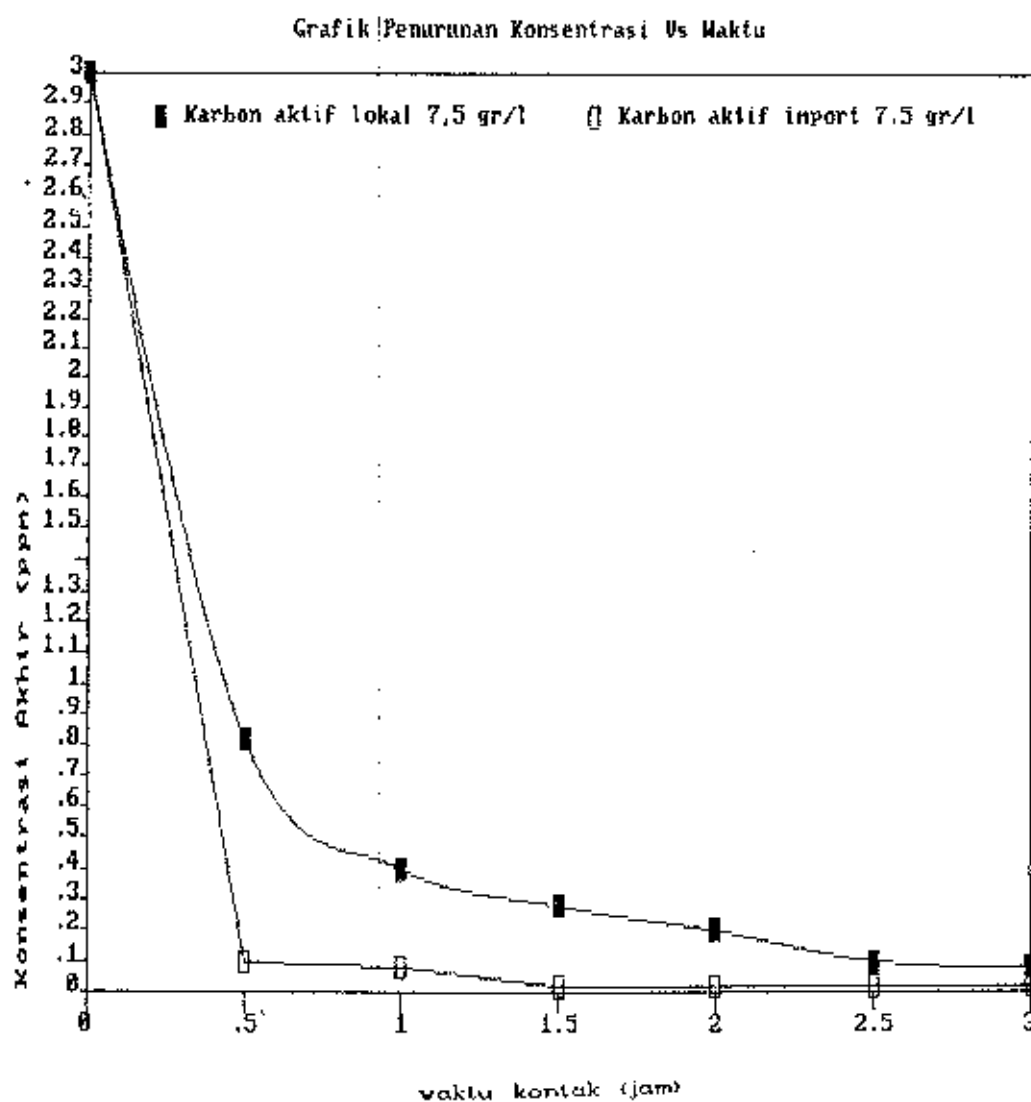
GRAFIK 4 - 1 : GRAFIK PENURUNAN KONSENTRASI MELAWAN WAKTU KONTAK UNTUK KONSENTRASI KARBON 1,25 GR/L



GRAFIK 4 - 2 : GRAFIK PENURUNAN KONSENTRASI MELAWAN WAKTU KONTAK UNTUK KONSENTRASI KARBON 2,50 GR/L



GRAFIK 4 - B : GRAFIK PENURUNAN KONSENTRASI MELAWAN WAKTU KONTAK UNTUK KONSENTRASI KARBON 5 GR/L



GRAFIK 4 - 4 : GRAFIK PENURUNAN KONSENTRASI MELAWAN WAKTU KONTAK UNTUK KONSENTRASI KARBON 7,5 GR/L

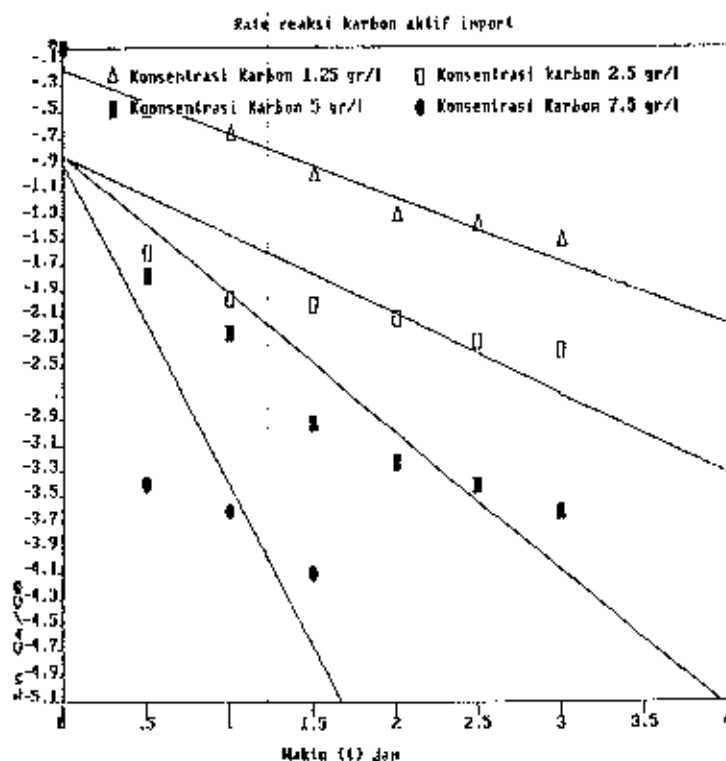
Berdasarkan analisa rate reaksi dan grafik yang dihasilkan ternyata terjadi penurunan konsentrasi karbon aktif. Pada sumbu x adalah t (waktu kontak dalam jam) dan pada sumbu y adalah $\ln C_e/C_o$. Nilai k (rate reaksi) ditunjukkan sebagai nilai slope yang dibentuk oleh garis regresi yang terjadi.

Berikut grafik 4 - 5 dan 4 - 6 yang menunjukkan garis regresi untuk masing-masing jenis karbon yang digunakan. Dari persamaan regresi tersebut, maka diperoleh nilai k yang nilainya dapat dilihat pada tabel 4 - 1 berikut.

TABEL 4-1: TABEL RATE REAKSI PADA BERBAGAI KONSENTRASI KARBON AKTIF.

RATE REAKSI PADA JENIS KARBON AKTIF	KONSENTRASI KARBON AKTIF (GR/L)			
	1,25	2,5	5	7,5
IMPORT	0,496	0,617	1,076	2,498
LOKAL	0,844	0,816	1,186	1,200

Pada tabel 4-1 terlihat rate reaksi pada konsentrasi karbon aktif 2,5 gr/l dan 5 gr/l untuk karbon aktif lokal lebih besar dari pada karbon aktif import.



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$(-1.750E-01) + (-4.977E-01)*X$$

THE VARIANCE = 1.517E-02

$$(0.436E-01) + (-1.078E+00)*X$$

THE VARIANCE = 2.109E-01

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 4 -

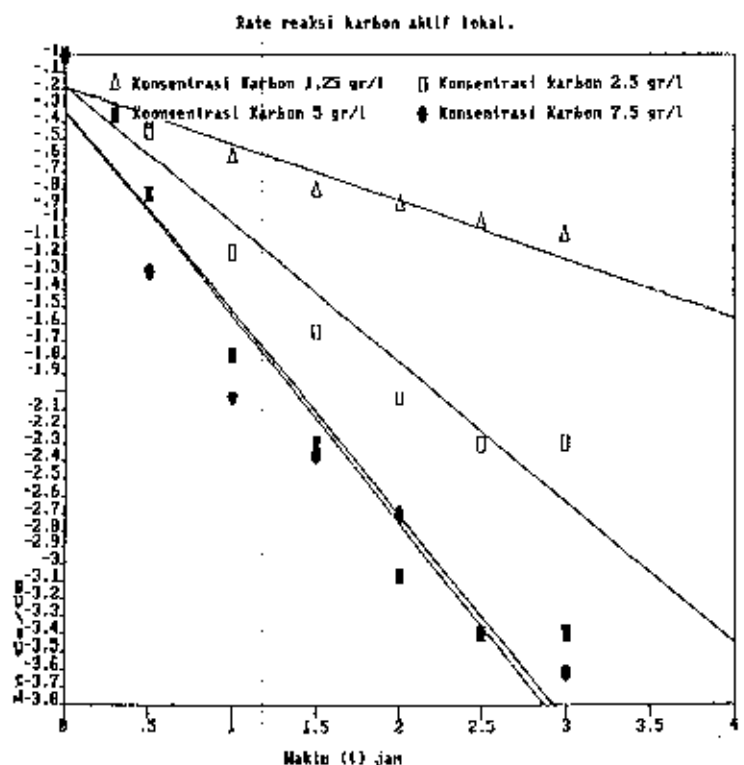
$$(-8.429E-01) + (-6.121E-01)*X$$

THE VARIANCE = 1.937E-01

$$(-9.040E-01) + (-2.470E+00)*X$$

THE VARIANCE = 6.836E-01

GRAFIK 4-5 : RATE REAKSI KARBON AKTIF IMPORT PADA BERBAGAI KONSENTRASI KARBON AKTIF.



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 - THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$(-1.861E-01) + (-3.436E-01)*x$$

$$\text{THE VARIANCE} = 1.149E-02$$

$$(-3.354E-01) + (-1.103E+00)*x$$

$$\text{THE VARIANCE} = 8.637E-02$$

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 - THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 4 -

$$(-1.907E-01) + (-8.157E-01)*x$$

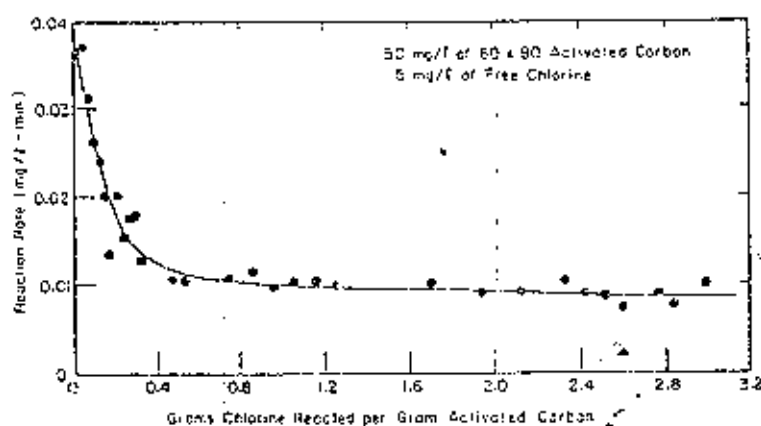
$$\text{THE VARIANCE} = 4.281E-02$$

$$(-3.570E-01) + (-1.200E+00)*x$$

$$\text{THE VARIANCE} = 7.341E-02$$

GRAFIK 4-6 : RATE REAKSI KARBON AKTIF LOKAL PADA BERBAGAI KONSENTRASI KARBON AKTIF.

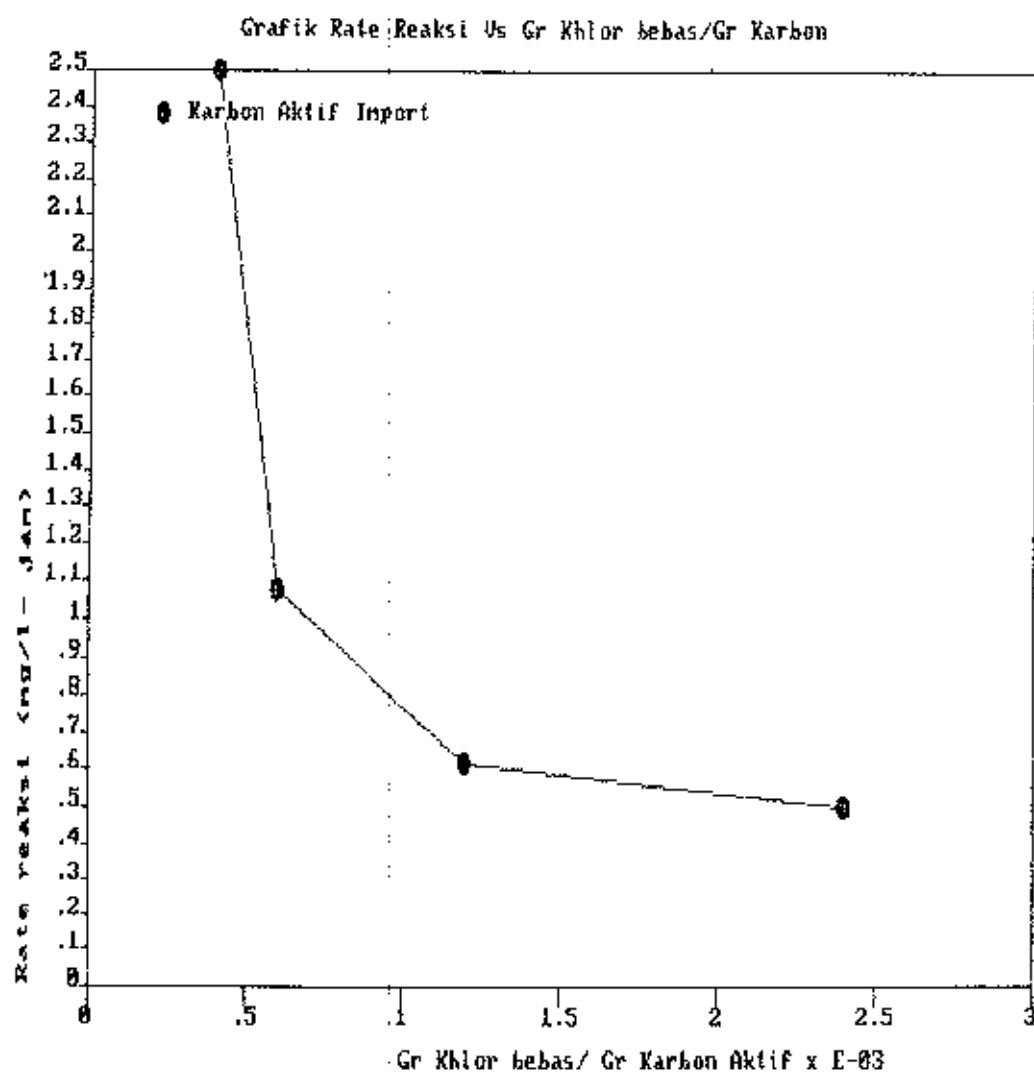
Hubungan antara Rate Reaksi dengan perbandingan massa khlor bebas dan massa karbon aktif menunjukkan kecenderungan yang exponential (kecenderungan dapat dilihat pada Grafik 4-8 dan 4-9). Analisa berdasarkan percobaan Magee yang hasilnya dapat dilihat pada grafik 4 - 7 berikut :



GRAFIK 4-7 : HUBUNGAN ANTARA RATE REAKSI DENGAN GR KHLOR BEBAS YANG DIREAKSIKAN/GR KARBON AKTIF YANG DIREAKSIKAN.

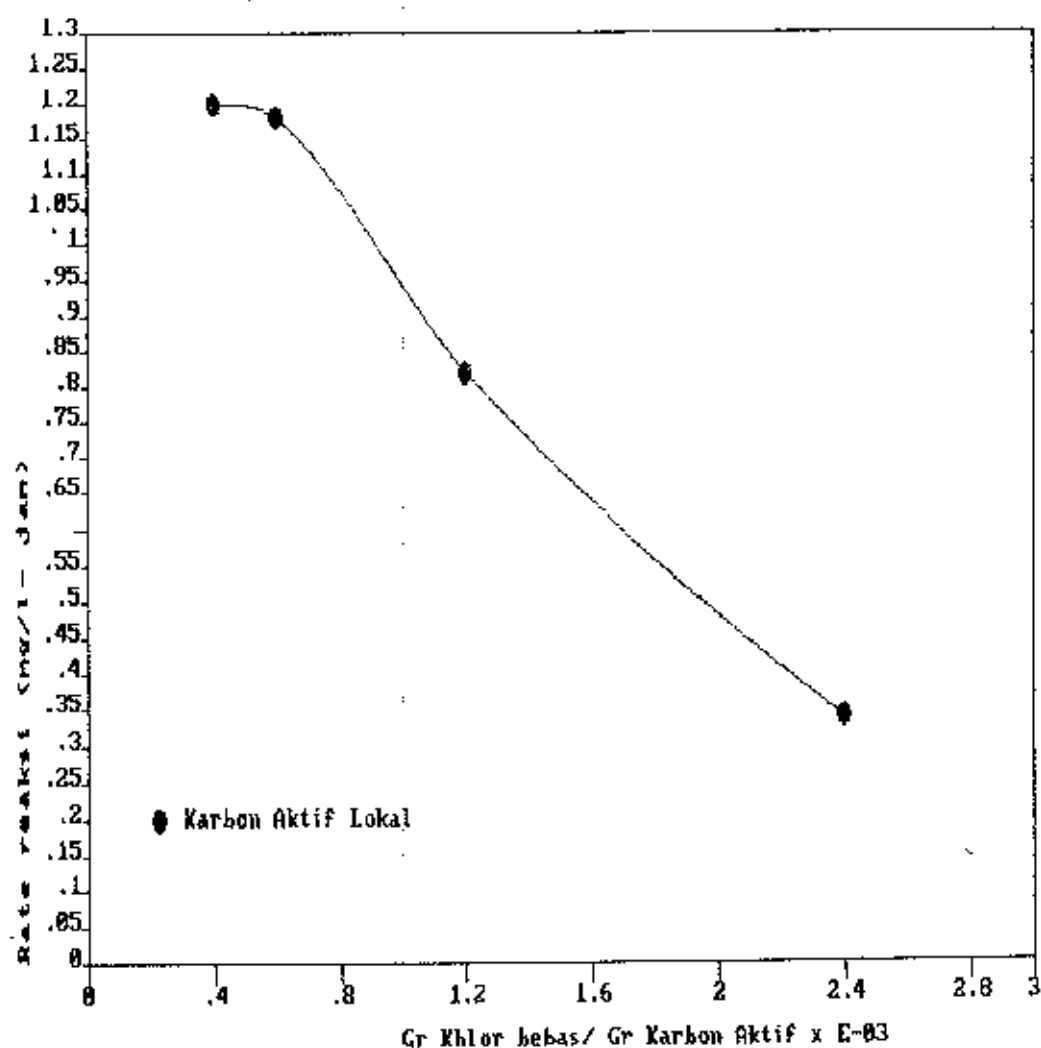
Hubungan antara Rate Reaksi dengan perbandingan khlor bebas dan karbon Aktif yang direaksikan adalah berupa fungsi exponential sebagai berikut:

$$y = e^{-kx}$$



GRAFIK 4-8 : HUBUNGAN ANTARA RATE REAKSI DENGAN GR KHLOR BEBAS YANG DIREAKSIKAN/GR KARBON AKTIF YANG DIREAKSIKAN, PADA KARBON AKTIF IMPORT.

Grafik Rate Reaksi Vs Gr Khlor bebas/Gr Karbon



GRAFIK 4-9 : HUBUNGAN ANTARA RATE REAKSI DENGAN GR KHLOR BEBAS YANG DIREAKSIKAN/OR KARBON AKTIF YANG DIREAKSIKAN, PADA KARBON AKTIF LOKAL.

Dan bila dilinierkan menjadi :

$$\ln y = -kx$$

Dari hubungan diatas dapat dijadikan kedalam bentuk yang perumusannya sebagai berikut :

$$\ln k = -k_a \left(-\frac{C}{m} \right)$$

Arti simbol-simbol adalah :

k : rate reaksi (mg/l -jam)

k_a : konstanta hasil regresi

C : Konsentrasi khlor bebas (gr/l)

m : Massa karbon aktif (gr/l)

Dengan membuat plotting antara $\left(\frac{C}{m} \right)$ pada sumbu x dan $\ln k$ pada sumbu y akan diperoleh garis regresi sebagai penyelesaian dari persamaan diatas. Data-data untuk pembuatan plotting rate reaksi karbon aktif lokal dan import dapat dilihat pada tabel 4-2 berikut.

TABEL 4-2 : DATA HUBUNGAN ANTARA $\ln K$ (RATE REAKSI) DENGAN GR KHLOR BEBAS/GR KARBON YANG DIREAKSIKAN. PADA KARBON AKTIF YANG DICOBAL.

Ln RATE REAKSI DARI KARBON AKTIF	GR KHLOR BEBAS/GR KARBON AKTIF YANG DIREAKSIKAN			
	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$
IMPORT	0,92	0,07	-0,48	-0,70
LOKAL	0,18	0,17	0,2	-1,07

Dari tabel ini kemudian digambarkan grafik yang menunjukkan hubungan antara \ln rate reaksi dan perbandingan massa khlor bebas dengan massa karbon aktif yang diraksikan. Dan dari persamaan garis regresinya akan diperoleh persamaan rate reaksi karbon aktif tersebut.

Dari grafik 4 - 10 dan 4 - 11 (pada halaman 2-15 dan 2-16) diperoleh persamaan-persamaan Rate Reaksi dari karbon aktif yang digunakan yaitu.

$$k = e^{-0,682 \left(\frac{C}{m} \right)}$$

Untuk karbon aktif import dan

$$k = e^{-0,654 \left(\frac{C}{m} \right)}$$

untuk karbon aktif lokal. Nilai k persamaan ini dalam mg/l -

jam.

Perbedaan yang tak berarti pada koefisien kecenderungan rate reaksi dapat dilihat pada persamaan diatas. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan tidak berlangsung sempurna. Diduga penyebabnya adalah proses gas transfer. Hal ini diperjelas pada reaksi antara butiran karbon dan air yang selain terjadi reaksi adsorpsi juga terjadi penipisan lapisan film.

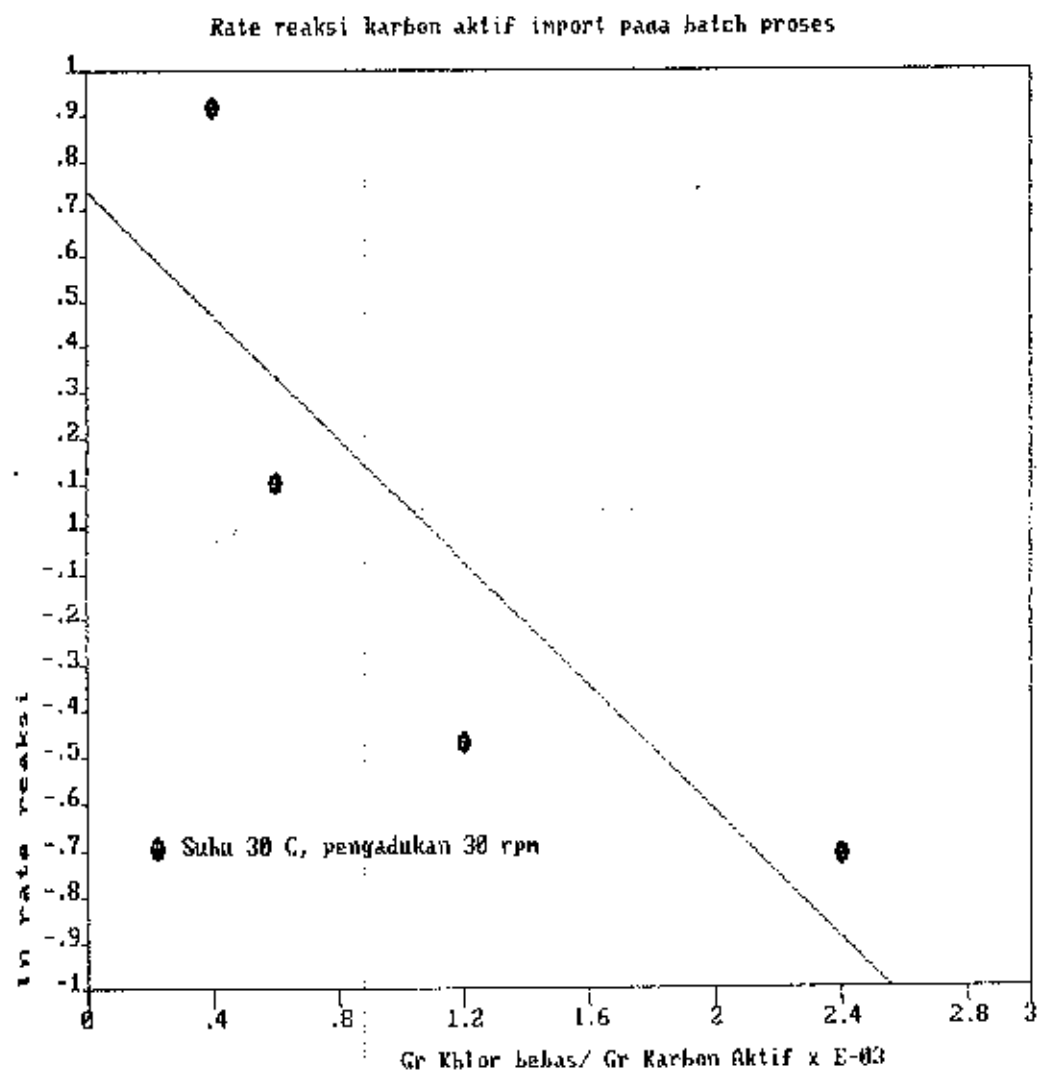
Untuk itu perlu penelitian pengaruh pengadukan terhadap efektifitas adsorpsi, terutama terhadap zat-zat yang mempunyai kemungkinan untuk bereaksi dengan oksigen bebas.

4.1.2. Pengaruh Pengadukan.

Pengaruh pengadukan terhadap konsentrasi Klor bebas pada proses batch ini akan menimbulkan energi yang identik dengan tranfer panas. Hal ini disebabkan karena gesekan antara pengaduk dengan fluida akan memberikan transfer energi panas dari pengaduk ke fluida.

Disamping itu klor bebas bukanlah larutan yang stabil sehingga mengakibatkan efek penipisan lapisan film yang memudahkan proses tranfer gas yang dapat menyebabkan berkurangnya konsentrasi klor bebas yang terlarut.

Data pada tabel 4 - 3 memberikan informasi tersebut.

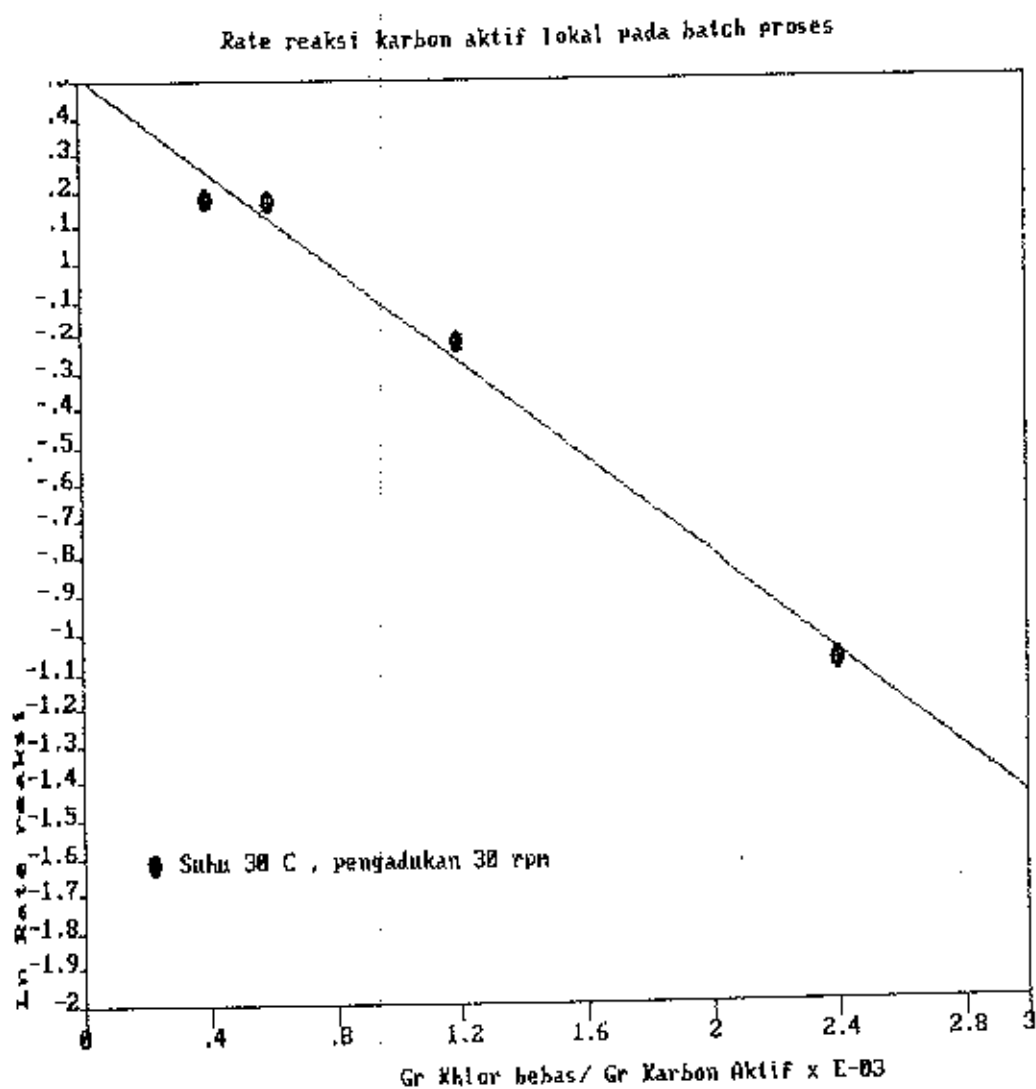


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(7.437E-01) + (-6.815E-01)*X$$

$$THE VARIANCE = 1.116E-01$$

GRAFIK 4-10 : PERSAMAAN RATE REAKSI KARBON AKTIF IMPORT YANG DIGUNAKAN



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 --

$$(5.147E-01) + (-6.541E-01)*X$$

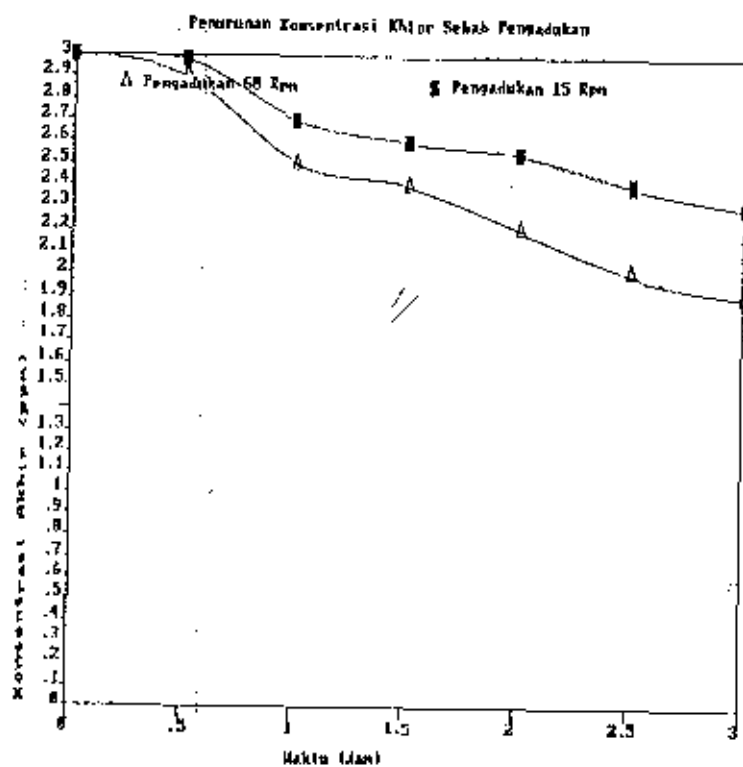
THE VARIANCE -- 2.690E-03

GRAFIK 4-11 : PERSAMAAN RATE REAKSI KARBON AKTIF LOKAL YANG DIGUNAKAN

TABEL 4-3 : PENURUNAN KONSENTRASI KHLOR BEBAS AKIBAT PENGARUH PENGADUKAN PADA KONSENTRASI AWAL 3 MG/L

PENGADUKAN (RPM)	KONSENTRASI AKHIR (mg/l) PADA KONTAK SELAMA T (JAM)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
15	2,98	2,7	2,6	2,54	2,4	2,3
60	2,9	2,5	2,4	2,2	2	1,9

Jadi bertambahnya derajat pengadukan akan mempercepat turunnya konsentrasi Khlor bebas. Keadaan ini diperjelas dengan grafik 4 - 12.



GRAFIK 4-12 : PENGARUH PENGADUKAN TERHADAP PENURUNAN KONSENTRASI KHLOR BEBAS

Dari uraian-uraian tersebut diatas penggunaan proses batch pada perumusan adsorpsi kurang tepat. Sebab keseimbangan antara proses adsorpsi dan desorpsi sulit terjadi, selama reaksi kimia lain antara air dan larutan khlor bebas masih akan berlangsung.

Jadi pengukuran keseimbangan proses adsorpsi sulit dilakukan dengan metode-metode yang biasa dipakai.

4.1.3. Analisa Korelasi Pada Proses Batch.

Analisa ini dimaksudkan untuk mencari hubungan antara variabel-variabel yang diuji. Selain itu juga untuk membuktikan secara statistik bahwa persamaan yang digunakan benar. Pada tabel 4-4 sampai 4-6 disajikan nilai koefisien determinasi dari percobaan yang dilakukan.

TABEL 4-4: NILAI KORELASI ANTARA WAKTU REAKSI DAN $\ln C_0/C_e$ KHLOR BEBAS PADA BERBAGAI KONSENTRASI KARBON AKTIF.

JENIS KARBON AKTIF	NILAI R PADA KONSENTRASI (GR/L)			
	1,25	2,5	5	7,5
IMPORT	0,94	0,66	0,85	0,74
HUBUNGAN	KUAT	KUAT	KUAT	KUAT
LOKAL	0,91	0,93	0,95	0,94
HUBUNGAN	KUAT	KUAT	KUAT	KUAT

TABEL 4-5: NILAI KORELASI ANTARA \ln RATE REAKSI DENGAN GR KHLOR YANG DIREAKSIKAN/GR KARBON AKTIF YANG DIREAKSIKAN.

JENIS KARBON AKTIF	R	HUBUNGAN
IMPORT	0,7	KUAT
LOKAL	0,99	KUAT

TABEL 4-6: NILAI KORELASI ANTARA WAKTU REAKSI DENGAN PENURUNAN KONSENTRASI KHLOR BEBAS PADA DERAJAT PENGADUKAN TERTENTU.

DERAJAT PENGADUKAN	R	HUBUNGAN
15 RPM	0,97	KUAT
60 RPM	0,98	KUAT

4.2 PROSES KONTINYU.

4.2.1. Analisa Kemampuan Deklorinasi Karbon Aktif Dengan Menggunakan Persamaan Hans Pick.

Dari persamaan 2-9 Hans Pick memberikan perumusan bahwa semakin besar perbandingan antara konsentrasi khlor bebas di influent dan effluent maka perbandingan antara panjang zone adsorpsi berbanding debit juga akan semakin besar. Hubungan itu dirumuskan oleh Hans Pick sebagai berikut :

$$\ln \left(\frac{C_{in}}{C_{eff}} \right) = k \frac{L^{1/2}}{V}$$

Untuk maksud disain nilai k kurang aman maka persamaan ini dirubah menjadi :

$$\ln \left(\frac{C_{in}}{C_{eff}} \right) = k_1 \frac{L}{V}$$

L/V adalah perbandingan antara panjang kolom untuk adsorpsi dan V adalah debit. K_1 adalah konstanta reaksi .

Untuk memperoleh nilai k diperlukan data-data dari percobaan panjang kolom reaksi dan Debit aliran pada konsen-

trasi effluent yang tetap. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada tabel 4-7 dan 4-8.

TABEL 4-7 : DATA HUBUNGAN ANTARA $\ln C_{in}/C_{ef}$ DENGAN L/V PADA KARBON AKTIF IMPORT..

V g cm ³ /min	L cm	L/V	C _{in} (mg/l)	C _{ef} (mg/l)	C _{in} /C _{ef}	Ln (C _{in} /C _{ef})
65	7,9	0,121	2	0,5	6	1,7918
125	7,9	0,0478	3	1	3	1,0986
272	7,9	0,0290	3	2,05	1,463	0,3808
20	7,9	0,3947	3	0,05	60	4,0943
60	7,9	0,1316	3	0,45	6,67	1,8971

TABEL 4-8 : DATA HUBUNGAN ANTARA $\ln C_{in}/C_{ef}$ DENGAN L/V PADA KARBON AKTIF LOKAL.

V g cm ³ /min	L cm	L/V	C _{in} (mg/l)	C _{ef} (mg/l)	C _{in} /C _{ef}	Ln (C _{in} /C _{ef})
100	9,9	0,0987	4,3	1,6	2,6875	0,9886
56	9,9	0,1762	4,3	1	4,3	1,4586
30	9,9	0,3289	4,3	0,4	10,7500	2,3749
24	19,7	0,3223	4,3	0,05	86	4,4543
55	19,7	0,3588	4,3	0,15	28,67	3,3557
80	19,7	0,2466	4,3	0,55	7,818	2,0565

Dari tabel diatas untuk memperoleh k_l dilakukan plotting antara L/V melawan $\ln C_{in}/C_{ef}$. Dengan menggunakan analisa regresi linier dapat diperoleh nilai k_l .

Untuk memperjelas hubungannya dapat dilihat pada grafik 4-13. Hubungan ini menginformasikan tinggi karbon yang dibutuhkan untuk mengolah air pada debit yang telah ditentukan, dan luas area yang tertentu pula untuk menurunkan konsentrasi effluent sampai batas yang diinginkan.

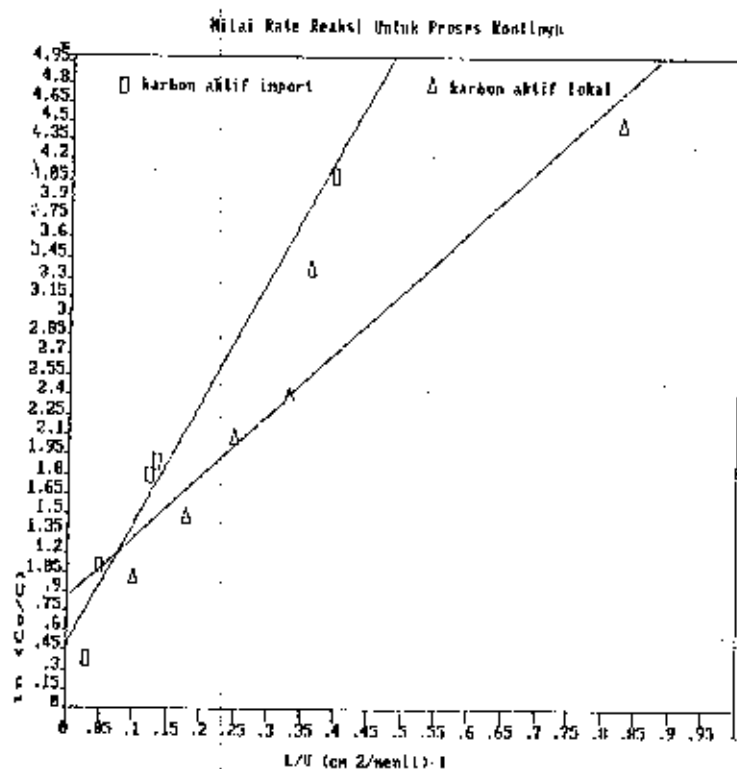
Jadi nilai k_1 pada percobaan diatas sebagai berikut :

Untuk karbon aktif import $k_1 = 9,335 \text{ mg/cm-mnt}$

Untuk karbon aktif lokal $k_1 = 4,700 \text{ mg/cm-mnt}$

Dari tinjauan pustaka dijelaskan bahwa tidak ada metode yang tepat untuk memperkirakan umur dari reaktor. Tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan menggunakan model adsorpsi yang ada untuk pendekatannya. Akan tetapi hal ini kurang menjamin bahwa hasilnya akan akurat. Karena juga tergantung dari cara operasi reaktor. Menurut penjelasan Clup R L (pustaka 4) ada perbedaan antara operasi terus menerus dengan operasi yang menggunakan penghentian-penghentian (intermitten).

Untuk membuktikan hal ini dilakukan dengan menggunakan Model dari Bohart-Adam yang mendasarkan modelnya pada kinetika reaksi kimia.



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1

$$Y = (4.977E-01) + (9.355E+00) * X$$

THE VARIANCE = 4.767E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2

$$Y = (0.367E-01) + (4.700E+00) * X$$

THE VARIANCE = 1.493E+01

GRAFIK 4-13 : HUBUNGAN ANTARA L/V DENGAN $\ln C_{in}/C_{ef}$ PADA KARBON AKTIF YANG DIGUNAKAN.

4.2.2. Analisa Kemampuan Dekhlorinasi Karbon Aktif Dengan Menggunakan Model Kinetik.

Pada penelitian dekhlorinasi menggunakan karbon aktif ini digunakan pendekatan yang didasarkan dari penurunan adalah kinetika reaksi kimia. Pendekatan ini juga digunakan oleh Hans Picks sehingga cukup beralasan bila persamaan ini digunakan sebagai bahan analisa kemampuan dekhlorinasi. Kecenderungan penurunan kemampuan dekhlorinasi dapat dilihat besarnya sebagai koefisien reaksi.

Sedangkan menggunakan Model Kinetik diperlukan data dari kurva penurunan konsentrasi (% penghilangan konsentrasi) zat yang diserap oleh karbon aktif pada debit pengaliran dan serta waktu kontak yang telah ditetapkan.

Data hasil proses adsorpsi untuk dua macam karbon aktif yang dipergunakan adalah sebagai berikut. Pada tabel 4-9 adalah data untuk karbon aktif import, sedang tabel 4-10 adalah untuk karbon aktif lokal.

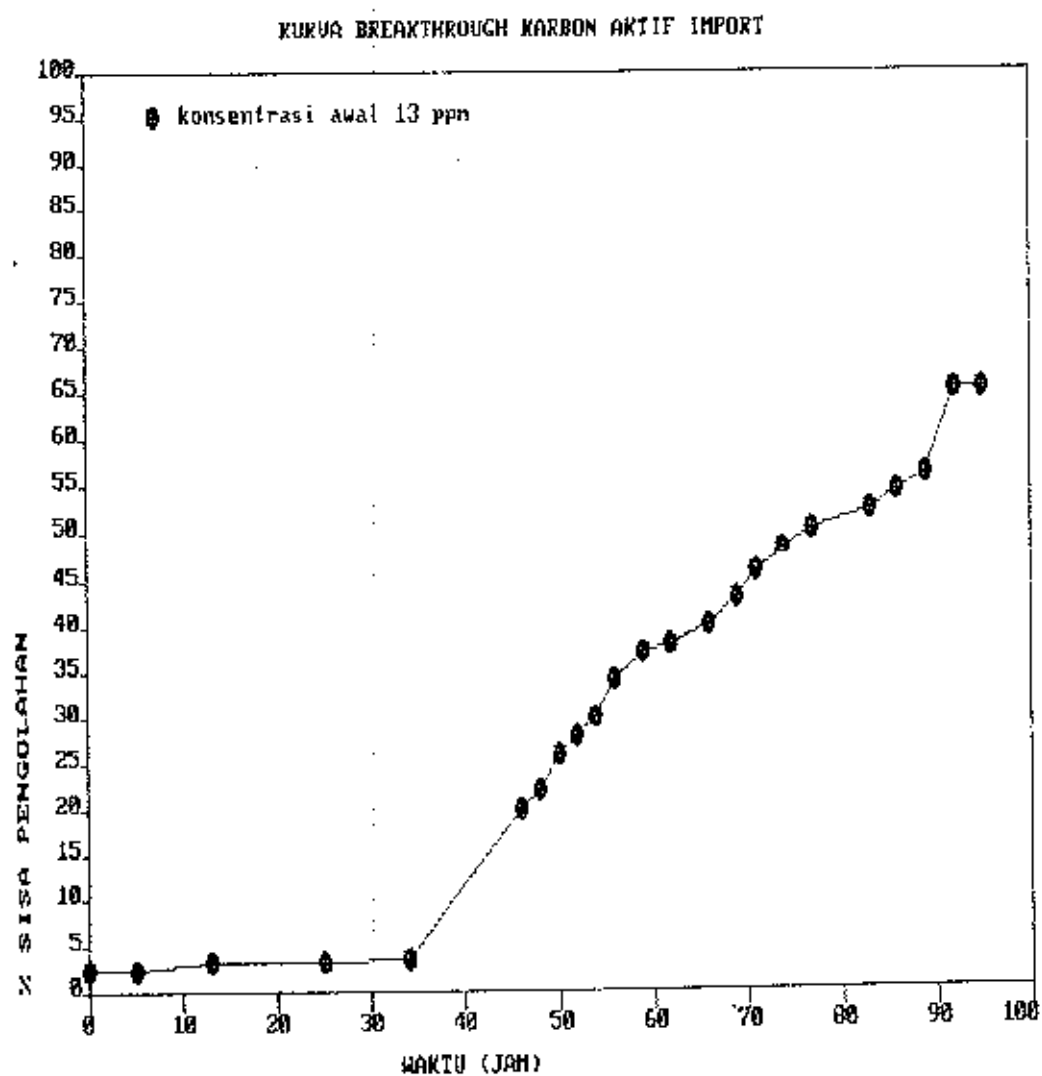
Dari data pada tabel 4-9 dan 4-10 kemudian digunakan pada plotting grafik kurva breakthrough (grafik 4-14 dan 4-15)

TABEL 4 - 9 : KEMAMPUAN PENYIHILANGAN KHLOR BEBAS UNTUK KARBON AKTIF IMPORT DENGAN KONSENTRASI KHLOR BEBAS 13 MG/L. VOLUME KARBON AKTIF 10 ML. DEBIT PENGALIRAN 5,087 ML/MNT. DIAMETER KOLOM 1 INC.

WAKTU KUMULATIF	KONSENTRASI AKHIR C _e	C _e /C ₀ %
0	0,3	2,5
5	0,3	2,5
13	0,4	3,3
25	0,4	3,5
34	0,45	3,5
36	0,65	5
38	0,9	7
40	1,3	10
42	1,8	14
44	2,05	16
46	2,6	20
48	2,85	22
50	3,35	26
52	3,65	28
54	3,9	30
56	4,45	34
59	4,8	37
62	4,95	38
66	5,2	40
69	5,6	43
71	6	46
74	6,25	48
77	6,5	50
83	6,75	52
86	7,05	54
89	7,3	56
92	8,45	65
95	8,45	65

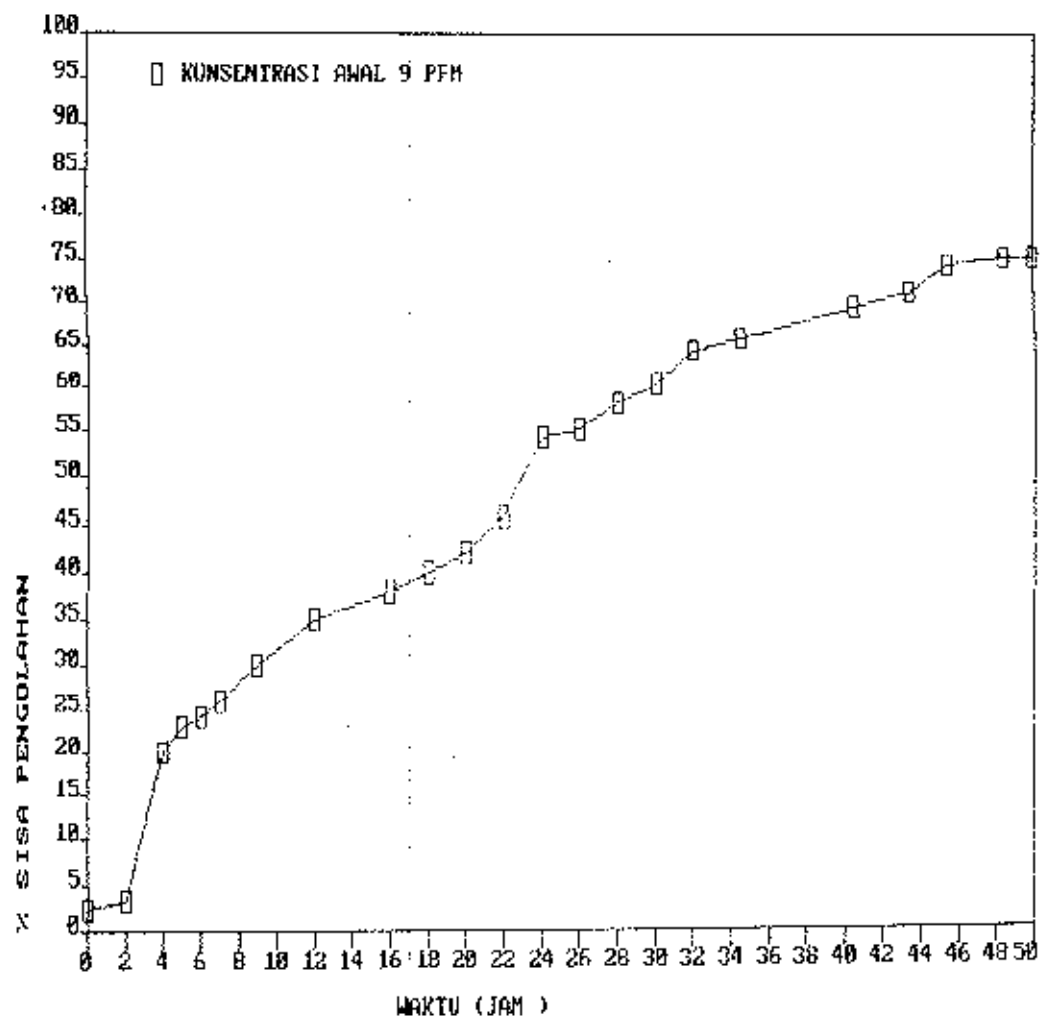
TABEL 4-10 : KEMAMPUAN PENGHILANGAN KHLOR BEBAS UNTUK
KARBONAKTIF LOKAL DENGAN KONSENTRASI KHLOR
BEBAS 9 MG/L. VOLUME KARBON AKTIF 10 ML.
DEBIT PENGALIRAN 4,396 ML/MNT. DIAMETER KOLOM
1 INC.

WAKTU KUMULATIF	KONSENTRASI AKHIR C _e	C _e /C ₀ %
0	0,25	2,5
2	0,3	3,3
4	1,8	20
5	2,05	23
6	2,15	24
7	2,35	26
9	2,7	30
12	3,15	35
16	3,42	38
18	3,6	40
20	3,8	42
22	4,15	46
24	4,85	54
26	4,95	55
28	5,25	58
30	5,4	60
32	5,76	64
35,5	5,9	65,5
40,5	6,2	69
43,5	6,4	71
45,5	6,65	74
48,5	6,75	75
50	6,75	75



GRAFIK 4-14 : KURVA BREAKTHROUGH UNTUK KARBON AKTIF IMPORT
PADA KONSENTRASI INFLUENT 13 Mg/l Cl_2

KURVA BREAKTHROUGH UNTUK KARBON ARTIF LOKAL

GRAFIK 4-15 : KURVA BREAKTHROUGH UNTUK KARBON AKTIF LOKAL
PADA KONSENTRASI INFLUENT Mg/l Cl_2

Dari kurva diatas dihasilkan hubungan antara Volume filtrat dari waktu ke waktu dan $\ln (C_0/C_e - 1)$ dan kemudian diplot dengan menggunakan regresi linier. Akhirnya akan diperoleh besaran-besaran dari Model Kinetik. Seperti persamaan 2-18 seperti berikut ini :

$$\ln (C_0/C_e - 1) = (k_1 q_0 M / Q) - (k_1 C_0 V / Q)$$

yang mana :

slope adalah $k_1 C_0 / Q$, dengan mengetahui nilai C_0 dan Q , k_1 dapat diperoleh. Dari nilai intercep yaitu $k_1 q_0 M / Q$ dengan memasukkan nilai k_1 yang telah diperoleh dan massa karbon (M), maka q_0 dapat diperoleh.

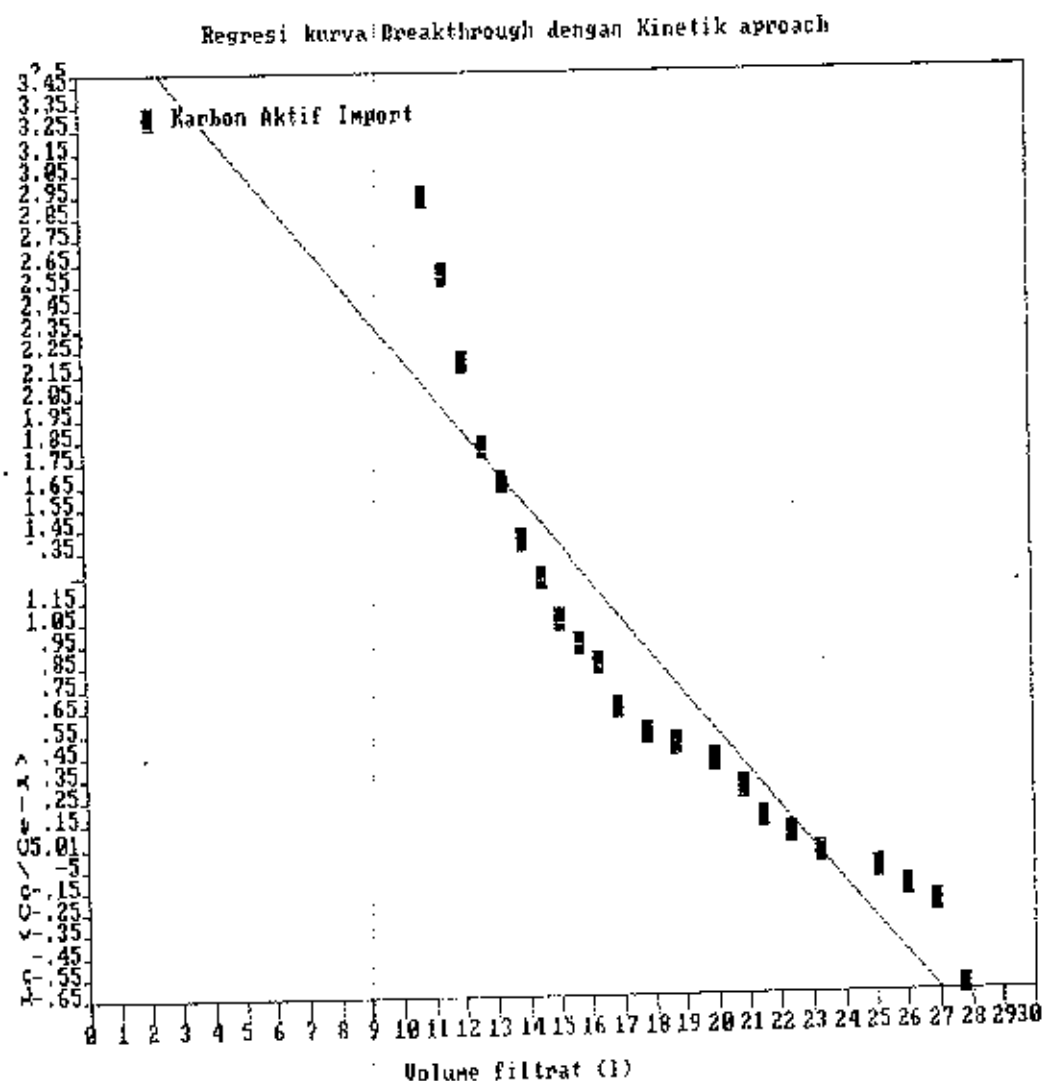
Pada tabel 4-11 dan 4-12 adalah data untuk memplotkan hubungan tersebut. Kemudian dengan menggunakan analisa regresi linier akan diperoleh besaran-besaran yang diinginkan. Grafik 4-16 dan 4-17 adalah plotting dari tabel 4-11 dan 4-12 dengan menggunakan regresi linier.

TABEL 4-11: DATA HUBUNGAN ANTARA $\ln (C_0/C_0-1)$ DENGAN V
(VOLUME FILTRAT) PADA MODEL KINETIK, UNTUK KAR
BON AKTIF IMPORT.

WAKTU (JAM)	VOLUME L	C_0/C_0-1	$\ln C_0/C_0-1$
0			
5			
13			
25			
34			
36			
38			
40			
42			
44			
46	13,90	4	1,39
48	14,5	3,55	1,23
50	15,10	2,85	1,85
52	15,70	2,57	0,94
54	16,31	2,33	0,85
59	16,92	1,94	0,66
62	17,62	1,70	0,53
66	18,73	1,63	0,49
69	19,94	1,5	0,41
71	20,84	1,33	0,29
74	21,45	1,17	0,16
77	22,35	1,00	0,08
83	23,26	1	0
86	25,02	0,92	0,00
89	25,98	0,85	-0,16
92	27,79	0,79	-0,24
95	28,70	0,54	-0,62

TABEL 4-12: DATA HUBUNGAN ANTARA $\ln (C_0/C_0-1)$ DENGAN V
(VOLUME FILTRAT) PADA MODEL KINETIK, UNTUK KAR
BON AKTIF LOKAL.

WAKTU (JAM)	VOLUME L	C_0/C_0-1	$\ln C_0/C_0-1$
0			
5	1,82	4	1,39
6	1,58	3,98	1,21
7	1,85	3,17	1,15
8	2,11	2,83	1,05
10	2,64	2,33	0,85
13	3,43	2,86	0,62
17	4,48	2,69	0,49
19	5,01	2,50	0,40
21	5,54	2,38	0,32
23	6,07	2,17	0,16
25	6,60	1,85	-0,16
27	7,120	1,82	-0,2
29	7,65	1,72	-0,33
31	8,18	1,67	-0,4
33,5	8,70	1,56	-0,58
41,5	9,36	1,52	-0,65
44,5	10,95	1,45	-0,80
46,5	11,74	1,41	-0,90
48,5	12,26	1,35	-1,05
74	12,79	1,33	-1,10

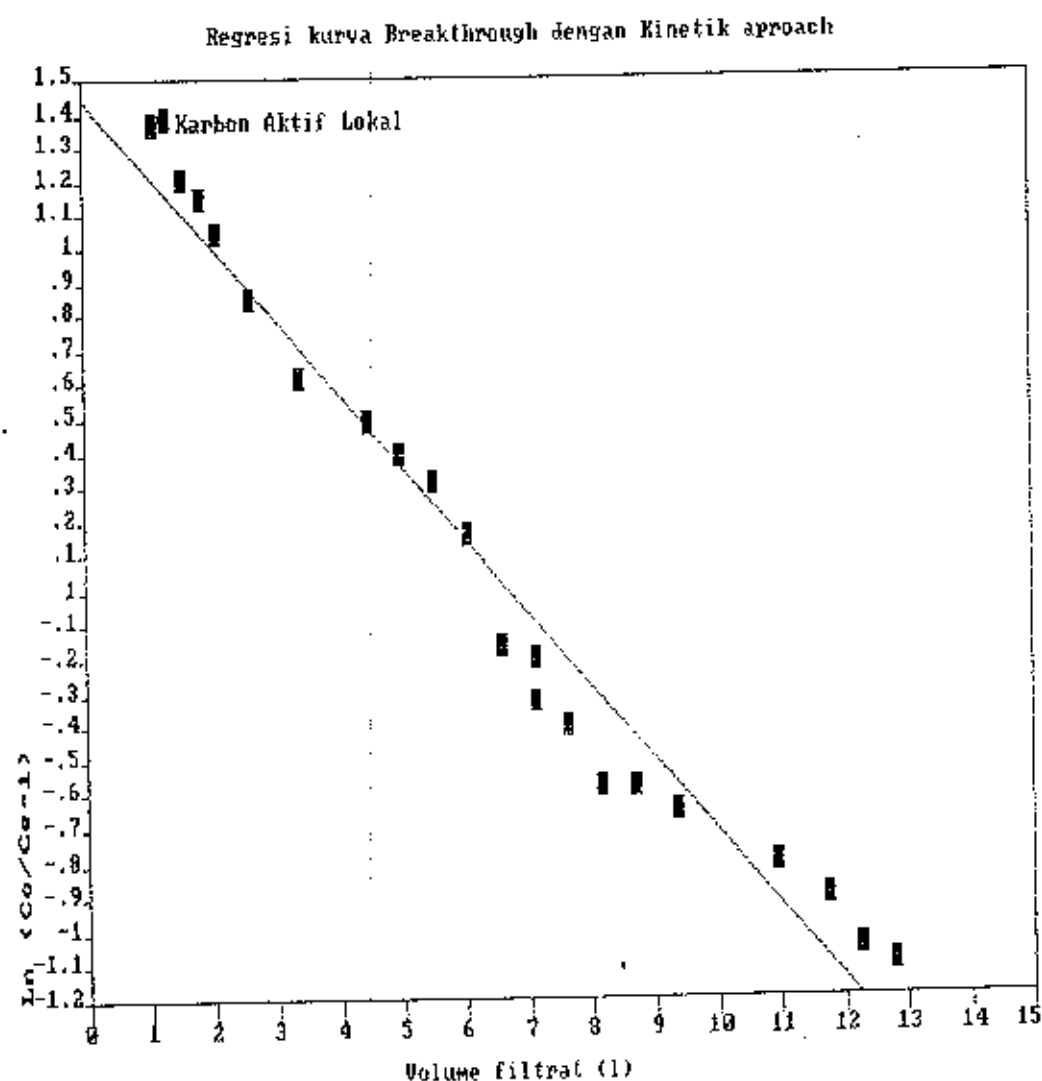


THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$Y = 3.856E+00 + (-0.649E-01) * X$$

THE VARIANCE = 1.036E-01

GRAFIK 4-16 : REGRESI DARI MODEL KINETIK UNTUK KARBON AKTIF IMPORT



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 =

$$(1.444E+00) + (-2.157E-01)*X$$

THE VARIANCE = 2.175E-02

GRAFIK 4-17 : REGRESI MODEL KINETIK UNTUK KARBON AKTIF LOKAL

Dari hasil percobaan berdasar metode Kinetik diperoleh nilai slope dan intercept yang nilainya untuk karbon aktif import adalah sbb:

slope = $-0,1693/l$, intercept = $3,297$. Nilai $C_0 = 13 \text{ mg/l}$ dan $Q = 0,302 \text{ l/jam}$ serta Massa = $2,6285 \text{ gr}$.

Dari nilai nilai ini nilai k_1 adalah

$$\begin{aligned}k_1 &= (\text{slope} * Q) : C_0 \\&= (0,1693 / l * 0,302 \text{ l/jam}) : 13 \text{ mg/l} \\&= 3,933 \cdot 10^{-3} \text{ l/jam-mg.} \\&= 3,933 \text{ l/jam-gr.}\end{aligned}$$

maka $q_0 = (\text{intercept} * Q) : (k_1 M)$

$$\begin{aligned}&= (3,297 * 0,302 \text{ l/jam}) : (3,933 \text{ l/jam-gr} * 2,6285 \text{ gr}) \\&= 0,0963 \text{ gr/gr.}\end{aligned}$$

Sedang untuk karbon aktif lokal nilai slope = $0,2157/l$ intercept = $1,444$, debit (Q) = $0,263 \text{ l/jam}$, $C_0 = 9 \text{ mg/l}$ dan massa = $7,12 \text{ gr}$, maka nilai

$$\begin{aligned}k_1 &= 6,303 \text{ l/jam-gr.} \\q_0 &= 0,00846 \text{ gr/gr.}\end{aligned}$$

Nilai q_0 sangat kecil maka terbuktilah keterangan Clup R L (pustaka 4) bahwa dekhlorinasi efektif untuk konsentrasi kecil dan tidak cocok untuk industri.

Untuk membuktikan nilai q_0 yang diperoleh pada

percobaan diatas benar maka digunakan metode analisa lain sebagai pembanding yaitu model Bohart-Adam.

4.2.3. Analisa Kemampuan Deklorinasi Karbon Aktif Dengan Menggunakan Model Bohart-Adam.

Model ini didasarkan pada kinetika reaksi dari reaksi kimia. Untuk memperoleh kemampuan karbon aktif digunakan data lamanya waktu pengolahan sampai breakthrough pada ketinggian karbon tertentu. Dan untuk memperoleh data ini ditentukan overflowratedari reaktor. Jadi kemampuan karbon aktif dapat diukur untuk tiap-tiap overflowrate.

Dengan menggunakan persamaan 2-24 :

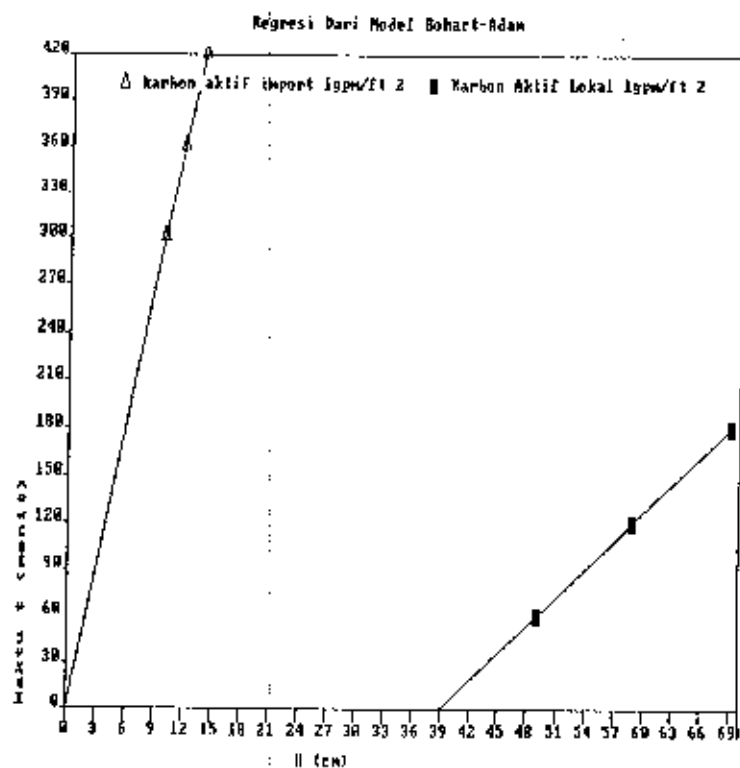
$$t = (N_0 / C_0 V) X - (1/C_0 K) \ln (C_0/C_e - 1)$$

dibuatlah hubungan antara t dengan X pada kondisi konsentrasi influent 3 mg/l dan konsentrasi effluent (breakthrough) 0,05 mg/l. Data dapat dilihat pada tabel 4-13.

TABEL 4-13 : DATA HUBUNGAN ANTARA X (PANJANG ZONE SERAP) DENGAN t (WAKTU BREAKTHROUGH).

KARBON AKTIF IMPORT		KARBON AKTIF LOKAL	
X (CM)	t (MENIT)	X (CM)	t (MENIT)
9,97	300	49	60
11,04	360	50	120
13,91	420	69	180

Dari data diatas kemudian diplot dalam model regresi Bohart-Adam yang hasilnya dapat dilihat pada grafik 4-18



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(-8.074E+01) + (2.6946E+01)*X$$

THE VARIANCE = 5.122E-08

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$(-2.340E+00) + (2.6000E+00)*X$$

THE VARIANCE = 0.000E+00

GRAFIK 4-18 : HASIL REGRESI DARI MODEL BOHART-ADAM PADA OVER FLOWRATE 1GPM/FT²

Dari data hasil regresi diatas diperoleh nilai nilai sebagai berikut :

Pada karbon aktif import :

Slope = 30,457 maka

No = Slope Co V

$$= 30,457 \text{ menit/cm} \times 3 \text{ mg/l} \times 5,18 \text{ cm/mnt}$$

$$= 473,301 \text{ mg/l.}$$

intercept = -0,609 menit.

$$K = \ln ((3/0,05)-1)/3 : -0,609 \text{ menit}$$

$$= -2,2318 \text{ l/mg-menit.}$$

Dengan cara yang sama untuk karbon aktif lokal nilainya sbb

Slope = 6 maka No = 93,24 mg/l

intercept = -234 maka K = 0,0058 l/mg-menit.

4.2.4. Analisa Korelasi Untuk Proses Kontinyu.

Seperti pada proses Batch analisa dilakukan untuk memberikan hubungan antara variabel yang diuji. Selain itu juga ketepatan model yang dipakai (secara statistik). Pada tabel 4-14 diberikan hubungan antara variabel-variabel pembentuk rate reaksi, sedang pada tabel 4-15 dan 4-16 adalah hubungan antara variabel-variabel pada model kinetik dan model Bohart-Adam.

TABEL 4-14 : NILAI KORELASI ANTARA \ln RATE REAKSI DENGAN PERBANDINGAN ANTARA MASSA KHLOR BEBAS DAN KARBON AKTIF YANG DIREAKSIKAN.

JENIS KARBON AKTIF	R	HUBUNGAN
IMPORT	0,97	KUAT
LOKAL	0,89	KUAT

TABEL 4-15 :NILAI KORELASI ANTARA VOLUME DENGAN $\ln (C_0/C_e-1)$ PADA MODEL KINETIK.

JENIS KARBON AKTIF	R	HUBUNGAN
IMPORT	0,87	KUAT
LOKAL	0,97	KUAT

TABEL 4-16 NILAI KORELASI ANTARA OVERFLOWRATE DENGAN WAKTU BREAKTHROUGH PADA MODEL BOHART-ADAM.

JENIS KARBON AKTIF	R	HUBUNGAN
IMPORT	1	KUAT
LOKAL	1	KUAT

4.2.5. Perbandingan Hasil Antara Model Kinetik Dan Bohart-Adam.

Untuk membandingkan kesamaan hasil antara kedua model diatas maka dilakukan perencanaan menggunakan kedua model diatas. Dan sebagai contoh diambil kemampuan karbon aktif import.

Lama waktu disain = 8jam.

overflow rate = $1 \text{ gpm/ft}^2 = 5,18 \text{ cm/menit}$

diameter kolom = $2,5 \text{ ft} = 8,35 \text{ cm}$

luas area kolom = $(\pi * 6,35^2 / 4) = 31,669 \text{ cm}^2$

Debit operasi = $31,669 \text{ cm}^2 * 5,18 \text{ cm/menit}$
 $= 164 \text{ cm}^3/\text{menit}.$

Volume filtrat = $164 \text{ cm}^3/\text{menit} * 8 \text{ jam} * 60 \text{ menit/jam}$
 $= 78720 \text{ cm}^3 = 78,72 \text{ l}.$

$C_o = 3 \text{ mg/l}$

$C_e = 0,05 \text{ mg/l}$

Dengan persamaan Bohart-Adam maka

$$X = C_o V / N_o [t + (1/C_o K) \ln(C_o/C_e - 1)]$$

$$= C_o V t / N_o + (V / N_o) (1/K) \ln(C_o/C_e - 1)$$

$$= \frac{480 \text{ menit} \mid 5,18 \text{ cm} \mid 3 \text{ mg} \mid 1}{\text{menit} \mid \mid 1 \mid} = 473,301 \text{ mg}$$

$$\frac{5,18 \text{ cm}}{\text{menit}} \left| \frac{1}{473,301 \text{ mg}} \right| \frac{\text{mg-menit}}{2,2318 \text{ l}} \left| \text{Ln} \left(\frac{3}{0,05} - 1 \right) \right|$$

$$= 15,76 - 0,02 \text{ cm}$$

$$= 15,74 \text{ cm.}$$

Untuk memperoleh nilai M (massa karbon) pada model kinetik dapat diperoleh dengan mengetahui volume karbon. Untuk memperolehnya diperlukan Apparent Density. Kemudian dari sini akan diperoleh volume karbon. Dari sini akan diperoleh tinggi kolom.

Dengan menggunakan persamaan 2-18 maka

$$(k_1 q_0/Q)M = [\ln (C_0/C_e - 1) + (k_1 C_0 V/Q)]$$

$$(3,933 \text{ l/jam-gr} * 0,0963 \text{ gr/gr}) / 9,84 \text{ l/jam M}$$

$$= \ln (3/0,05 - 1) + (3,933 \text{ l/jam-gr} * 0,003 \text{ gr/l} * 78,72 : 9,84 \text{ l/jam})$$

$$= 4,078 + 9,4392 \cdot 10^{-2}$$

$$= 4,172$$

$$M = 4,172 : 3,849 \cdot 10^{-2}$$

$$= 108,39 \text{ gr.}$$

$$\text{Densitas karbon} = 0,2629 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume karbon} = 412,286 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tinggi kolom} = 412,286 \text{ cm}^3 : 31,699 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tinggi kolom} = 13 \text{ cm}$$

Dari hasil yang diperoleh tersebut diatas bahwa perbedaan yang dihasilkan tidak terlalu berarti. Jadi penelitian dengan memakai persamaan Bohart-Adam dirasa cukup praktis. Karena percobaan yang dilakukan tidak terlalu lama seperti pada Model Kinetik.

4.2.6. Perbandingan Kemampuan Karbon Aktif Import Dan Lokal.

Dari hasil yang diperoleh pada percobaan diatas kemampuan karbon aktif lokal lebih rendah dari karbon aktif import. Hasil percobaan dengan Model Kinetik dan dengan Model Bohart-Adam (pada 1 gpm/ft^2) perbandingan dilakukan dan terlihat pada tabel 4-11. Hasil percobaan ini selain membandingkan kemampuan juga membandingkan masalah harga.

Yang mana harga karbon aktif yang dipakai sebagai berikut :

Karbon aktif import : Rp 15.000,00 (CV Kawan Kita Sejati).

Karbon aktif lokal : Rp 5.500,00 (JL Pasar Kembang).

TABEL 4-17 : PERBANDINGAN ANTARA KEMAMPUAN DAN HARGA KARBON AKTIF LOKAL DAN IMPORT.

JENIS KARBON	MODEL BOHART-ADAM		MODEL KINETIK		SKORE HARGA
	No	SKORE	QO	SKORE	
IMPORT	479,3	5	0,096	12	1
LOKAL	29,29	1	0,008	1	3

Dari tabel ini jelas bahwa perbandingan harga yang tinggi untuk karbon aktif lokal belum mampu mengungguli perbandingan kemampuan dari karbon aktif import yang harganya lebih mahal. Perbandingan kemampuan yang lebih dari 3 x membuktikan bahwa karbon aktif import lebih layak dipakai selain itu karbon aktif import menghemat tinggi kolom disain.

4.2.6. Pengaruh Penghentian-Penghentian Operasi Pada Umur Karbon Aktif.

Menurut teori dari buku Clup R (pustaka 4) bahwa penghentian operasi dan kemudian dioperasikan lagi akan mempengaruhi umur reaktor.

Dari percobaan yang dilakukan pada contoh disain diatas yaitu dengan kolom diameter 2,5" dan tinggi karbon aktif import 18 cm diperoleh hasil bahwa dengan

pengoperasian selama 4 jam sehari umur karbon aktif lebih dari 2 hari, sedangkan untuk waktu pengoperasian 8 jam sehari umurnya hanya sehari.

4.2.7. Regenerasi.

Regenerasi dalam artian mengaktifkan kembali karbon aktif yang sudah jenuh hanya efektif untuk suhu pemanasan diatas 400°C . Penyediaan reaktor pemanas sangat tidak mungkin dilakukan di rumah tangga, sedangkan untuk regenerasi dari zat kimia informasi penggunaannya tidak diperoleh.

BAB V

(THESIS MINOR)

DEKHLORINASI KHLORINE BEBAS DENGAN FIX BED ADSORPTION COLUMN UNTUK SKALA RUMAH TANGGA

5.1 PENDAHULUAN.

5.1.1. Tinjauan Kualitas Air Minum.

Seperti telah disebutkan pada bab 1 bahwa kualitas air hasil pengolahan masih ada kemungkinan tercemar oleh zat-zat yang tidak mampu terolah oleh treatment, ataupun oleh sistim distribusi yang masih banyak kekurangannya. Zat-zat kelompok *humic acid* yang masuk melalui kebocoran pipa dan juga dari zat-zat lain tentunya akan mengurangi kualitas air yang diterima oleh konsumen.

Masalah lain yang cukup menyulitkan adalah adanya dosis khlor bebas yang berlebih di daerah-daerah tertentu terutama daerah yang dekat dengan instalasi. Di lain pihak daerah-daerah yang jauh dari instalasi kadar khlor aktifnya sama sekali tidak ada sehingga segi bakteriologis sangatlah rawan. Apalagi ditambah adanya kebocoran yang akan memperburuk kualitas air minum.

5.1.2. Tinjauan Kelayakan Pakai.

Dari gambaran diatas jelas masalah khlor aktif terutama khlor bebas untuk sistim distribusi sangat sulit untuk diantisipasi kelebihan ataupun kekurangan dosisnya. Sebagai misal rekhlorinasi yang dilakukan untuk daerah-daerah yang kekurangan kadar khlor bebas di satu sisi pengamanan bakteriologis akan tercapai, tetapi disisi lain masalah bau dan sifat korosif dari khlor terhadap faal manusia dan peralatan juga tak bisa dihindari.

Dari sini dapat disimpulkan, khlor sebagai desinfektan memang efektif dari segi kualitas bakteriologis dan dari segi ekonomis. Tetapi sifat gangguan pada dosis lebih akan menimbulkan dampak pada konsumen. Untuk mengatasi masalah ini dekhlorinasi perlu dilakukan. Instalasi dekhlorinasi sebaiknya diletakan di rumah-rumah sebab masalah dekhlorinasi berada diluar instalasi.

Pemakaian instalasi dekhlorinasi di rumah tangga perlu ditinjau segi-segi kelayakannya, yaitu ditinjau dari dari segi ekonomis dan teknis. Dari segi teknis harus memenuhi syarat kemudahan pengoperasian dan praktis dalam penempatan dan pemeliharaan.

Dari segi ekonomis adalah biaya pengadaan yang murah.

Dan selain itu biaya operasional dan perawatan juga perlu dipertimbangkan.

Dari tinjauan pustaka telah diketahui bahwa penggunaan dekhlorinator bahan-bahan kimia dirasa kurang praktis. Dari segi ekonomis juga akan merugikan sebab operasional harus rutin dan ini tentu akan memerlukan biaya operator.

Alternatif yang paling memungkinkan adalah aerasi dan adsorpsi. Tetapi perlu diingat bahwa warna dan zat-zat organik yang dimungkinkan masih terdapat dalam air PAM. Zat-zat ini tidak bisa dihilangkan dengan proses aerasi, oleh sebab itu perlu proses adsorpsi untuk penghilangannya.

Adsorpsi yang akan digunakan adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif mempunyai kemampuan menyerap banyak unsur. Diantaranya adalah sisa khlor, zat organik dan unsur-unsur kimia lain. Dari alasan tersebut maka direncanakan sebuah peralatan dekhlorinasi seperti pada gambar reaktor (lampiran). Reaktor ini selain menyerap khlorine bebas juga menyerap senyawa trihalomethane. Senyawa ini terbentuk karena adanya sisa khlor yang bersenyawa dengan substansi humic. Hal ini karena senyawa trihalomethane dapat menimbulkan kanker.

Hal yang masih perlu dibuktikan adalah kelayakan dari segi ekonomis. Tinjauan harga air terolah perlu untuk dikemukakan sebagai perbandingan dengan peralatan model lain. Untuk itu pada bab ini dibahas tinjauan yang mengarah kesana.

5.2, Penggunaan Karbon Aktif Untuk Dekhlorinator Dengan Sistim Fix Bed Continuous Flow.

Penelitian ini pada dasarnya mencoba kelayakan karbon aktif di pasaran untuk digunakan sebagai dekhlorinator. Karbon aktif yang dipakai adalah yang termurah sehingga bila hasilnya memuaskan bisa dipakai untuk skala rumah tangga, terutama dapat dijangkau oleh sebagian besar lapisan masyarakat pelanggan air PAM.

5.2.1. Penurunan Kemampuan Karbon Aktif Untuk Operasi Menggunakan Sampel Air PAM Yang Distandarkan.

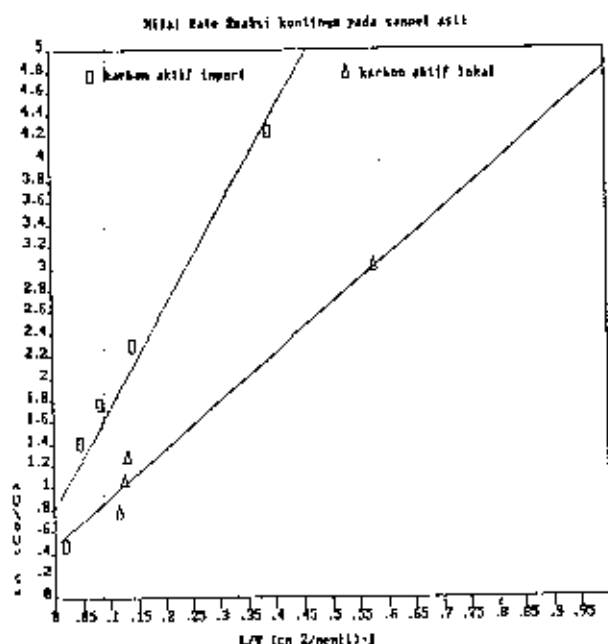
Konsentrasi khlor bebas sebesar 3 ppm pada sampel air PAM sulit dicari, oleh karena itu dalam percobaan konsentrasi distandarkan menjadi 3 ppm dengan menggunakan kaporit. Untuk membuktikan adanya penurunan kemampuan dekhlorinasi dilakukan pengukuran rate reaksi pada proses kontinyu. Cara lebih akurat bila untuk membuktikannya digunakan model-model yang lain. Dan dengan cara ini pula pada setiap perbandingan tinggi kolom dan debit diukur konsentrasi akhir prosesnya. Apabila memakai Bohart-Adam yang diukur adalah rentang waktu menuju breakthrough sehingga ketelitian tergantung pengam-

bilan rentang waktu. Data dari percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 5-1 :

TABEL 5-1: DATA HUBUNGAN ANTARA L/Q DAN $\ln(C_0/C_e)$ PADA SAMPEL AIR PAM YANG DISTANDART PADA KONSENTRASI AWAL 3 MG/L UNTUK KARBON AKTIF YANG DIPAKAI.

KARBON AKTIF IMPORT					KARBON AKTIF LOKAL				
Q ml/mn	L cm	L/Q	C _{ef} ppm	Ln C ₀ /C _e	Q ml/mn	L cm	L/Q	C _{ef} ppm	Ln C ₀ /C _e
69	9,9	0,143	0,35	2,303	34	19,7	0,580	0,15	2,996
25	9,9	0,395	0,05	4,249	150	19,7	0,132	0,85	1,261
120	9,9	0,082	1,6	1,267	100	19,7	0,127	1,05	1,049
340	9,9	0,018	2,2	0,464	170	19,7	0,116	1,4	0,762
210	9,9	0,047	0,85	1,415					

Grafik regresi linier dari data pada tabel 5-1 dapat dilihat pada grafik 5-1.



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(7.987E-01) + (9.048E+00) * X$$

THE VARIANCE = 7.074E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$(4.777E-01) + (4.352E+00) * X$$

THE VARIANCE = 2.333E-02

GRAFIK 5-1 : RATE REAKSI KARBON AKTIF YANG DIPAKAI PADA SAMPEL ASLI YANG DISTANDART.

Dari grafik diperoleh nilai slope yang merupakan rate reaksi dari karbon aktif yang dicoba pada keadaan tersebut. Bila hasil ini dibandingkan dengan sampel buatan yang dibuat dari air suling dengan kaporit seperti pada grafik 4-13 diperoleh perbedaan sekitar 3%. Nilai K1 untuk ini adalah 9,048 untuk karbon aktif import dan 4,352 untuk lokal. Harga dalam mg/cm-mnt.

Dari informasi ini dapat dibuktikan bahwa selain menyerap khlor bebas juga menyerap pengotor lain yang ikut di air PAM meskipun jumlahnya sanga kecil.

Hal ini justru cukup menguntungkan karena secara keseluruhan proses dekhlorinai tifak menganlami penurunan yang berarti. Dan pengotor lain yang yang ikut pada air PAM bisa hilang. Penyerapan dengan menggunakan karbon aktif pada zat organik mempunyai efisiensi yang besar

5.2.2. Penerapan Disain Dari Bohart-Adam.

Dengan menggunakan persamaan 2-39 yaitu menghubungkan lama waktu breakthrough dengan tinggi operasional kolom pada offerflowrate tertentu. Hubungan tersebut dapat dilihat pada tabel 5-2

TABEL 5-2 : DATA HUBUNGAN ANTARA TINGGI KOLOM DENGAN DAN LAMA WAKTU BREAKTHROUGH UNTUK OVERFLORATE YANG BERVARIASI.

OVERFLORATE (CM/MNT)	TINGGI KOLOM (CM)		
	LAMA WAKTU MENCAPAI BREAKTHROUGH (MNT)		
5,18	9,87	11,84	13,81
	300	360	420
10,38	24	30	40
	180	300	420
15,56	40	50	60
	180	240	300

Kemudian dari data ini dilakukan regresi linier antara tinggi kolom melawan waktu breakthroughnya (lihat grafik

5-2). Dan dari nilai slope dan intercept akan diperoleh nilai-nilai N_0 dan K dari Bohart-Adam. Nilai-nilai N_0 dan K dari Bohart-Adam pada berbagai overflowrate dapat dilihat dalam tabel 5-3 berikut.

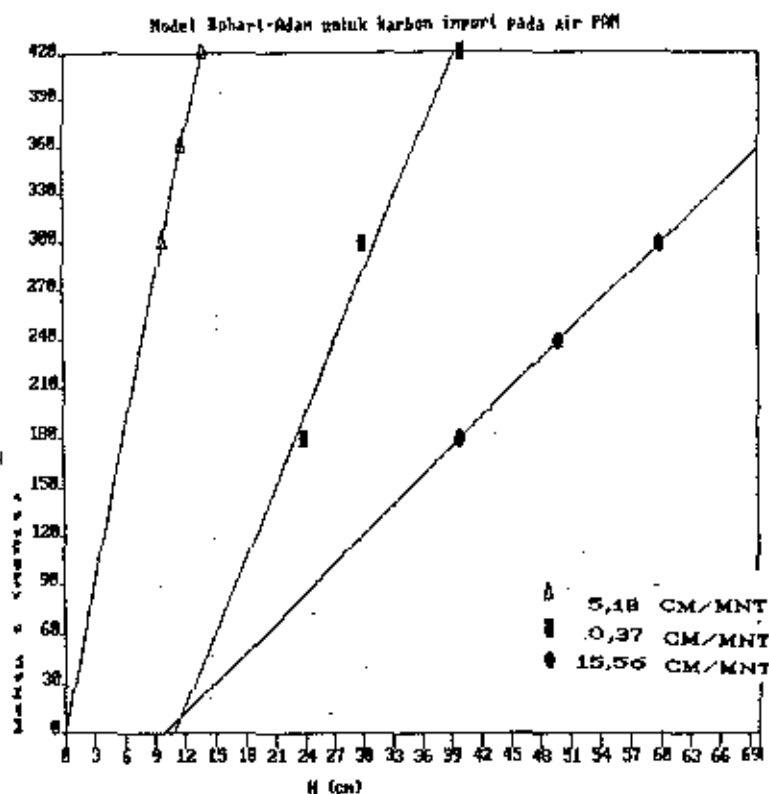
TABEL 5-3 : NILAI N_0 DAN K PADA BERBAGAI OVERFLOWRATE.

OVERFLOWRATE (CM/MNT)	NILAI KOEFISIEN BOHART-ADAM	
	N_0	K
5,18	493,301	2,231
10,39	456,57	0.0058
15,56	279,72	0.0023

Dari tabel ini dapat diperoleh nilai garis operasi dari karbon aktif import yang dipakai sebagai percobaan (lihat grafik 5-3).

Grafik 5-3 ini dapat digunakan untuk mencari nilai N_0 dan K Bohart-Adam, yang mana nilai-nilai ini dapat digunakan untuk perencanaan dekhlorinator. Apabila variasi pencemar diperkirakan sama dengan sampel air PAM yang distandartkan maka dengan menentukan debit yang diolah dan diameter kolom akan diperoleh overflowrate. Nilai overflowrate tersebut kemudian diplot ke grafik 5-3 akan diperoleh nilai koefisien dari Bohart-Adam. Selanjutnya dari sini dapat diperoleh

nilai X (tinggi kolom) dengan menentukan lama waktu operasinya.



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(-6.074E-01) + (3.046E+01)*X$$

THE VARIANCE - 5.122E-08

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$(-1.604E+02) + (1.469E+01)*X$$

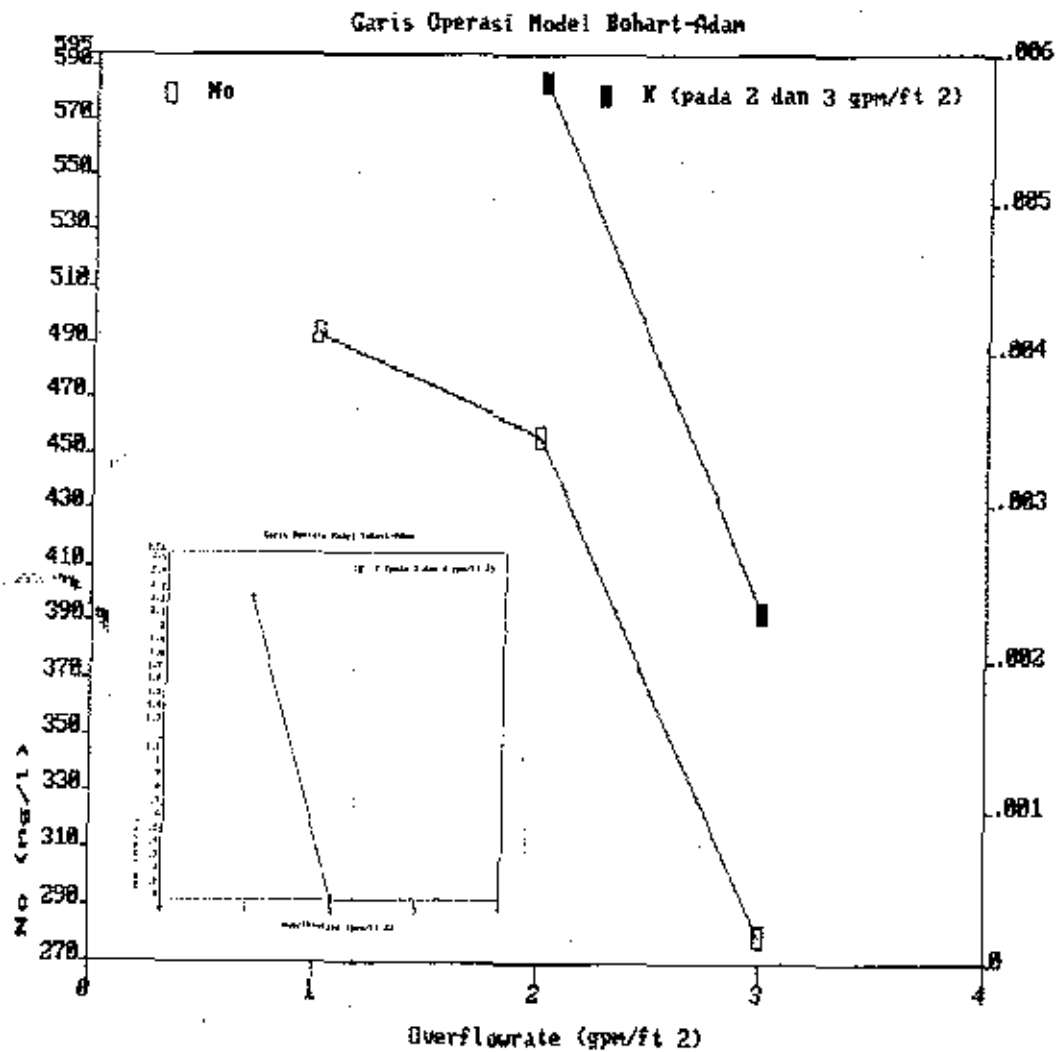
THE VARIANCE - 1.959E+02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$(-6.000E+01) + (6.000E+00)*X$$

THE VARIANCE - 0.000E+00

GRAFIK 5-2: REGRESI DARI TINGGI KOLOM OPERASI DENGAN LAMA WAKTU BREAKTHROUGH PADA KOLOM 1" DAN KONSENTRASI SAMPEL ASLI YANG DISTANDAR 3MG/L



GRAFIK 5-3: GARIS OPERASI BOHART-ADAM PADA SAMPEL AIR PAM YANG DISTANDART.

5.2.3. Kendala Penentuan Umur Dari Disain.

Kendala-kendala penentuan umur reaksi disain adalah umur reaksi. Seperti dijelaskan di bab 4 bahwa pengoperasian berselang-selang (intermitten) akan mempengaruhi umur reaksi. Karena itu penelitian ini memerlukan kelanjutan hubungan lama penghentian dengan perpanjangan umur dari reaksi. Hal ini perlu untuk lebih mengefisienkan umur yang berarti mengefisienkan biaya.

Kendala lain adalah fluktuasi konsentrasi khlor di air PAM. Perkiraan umur dari disain tentu akan berubah mungkin lebih lama ataupun bisa lebih pendek.

Selain data fluktuasi konsentrasi khlor, data konsentrasi organik pengotor juga perlu untuk lebih mengamankan disain.

5.2.4. Perkiraan Biaya Pengolahan Menggunakan Dekhlorinator.

Perkiraan biaya yang kami berikan disini adalah dari segi kebutuhan terhadap massa karbon aktif saja. Sedangkan untuk perkiraan biaya kontruksi tidak kami perhitungkan karena hal ini bersifat relatif.

Untuk memperoleh berapa biaya per liter air yang diolah dengan karbon aktif import sebagai pilihan, ditetapkan disain menggunakan karbon aktif 1kg. Dengan apparent density 0,2629 gr/ml, volume karbon adalah 3803,7276 ml. Dengan menggunakan diameter 2,5" sebagai kolom, maka akan diperoleh tinggi kolom 120,1 cm. Dengan menggunakan overflowrate dapat diperoleh umur karbon aktifnya seperti terlihat pada tabel 5-4 dibawah. Dari umur kemudian dikalikan debit diperoleh volume air yang terolah. Biaya karbon aktif/ volume air yang dihasilkan adalah biaya penolahan air tiap literanya. Hasil ini dapat dilihat pada tabel 5-4 berikut.

TABEL 5-4: DATA HUBUNGAN ANTARA OVERFLOWRATE DAN DEBIT PADA REAKTOR DEKHLORINASI DENGAN DIAMETER KOLOM 2,5" PADA TINGGI KARBON 120,1 CM MELAWAN BIAYA PENGOLAHAN PER LITERNYA.

OVERFLOWRATE (CM/MNT)	DEBIT (L/MENIT)	BIAYA PENGOLAHAN Rp/L	UMUR(JAM)
5,18	0,164	25	69
10,38	0,328	29,4	26,76
15,56	0,492	235	2,16

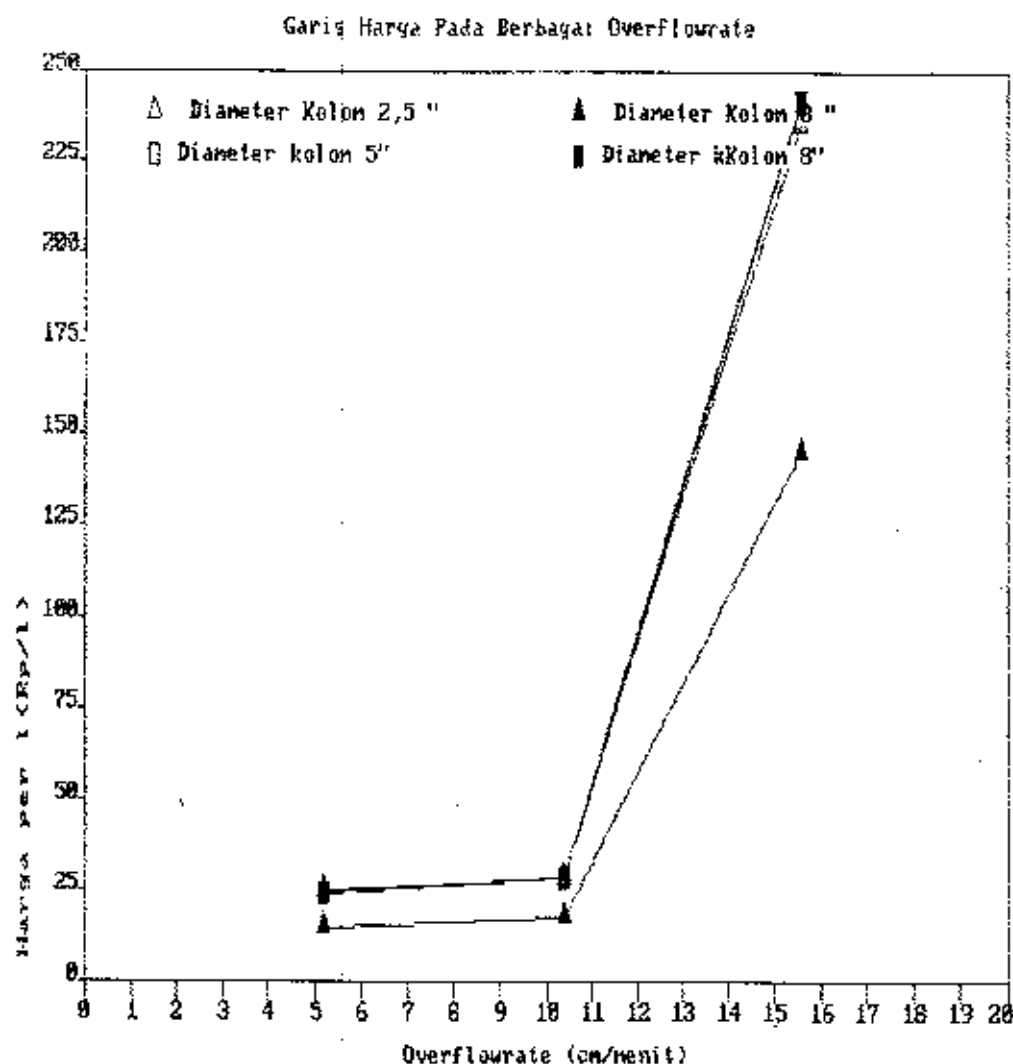
Dari data pada tabel 5-4 ini dapat diperoleh hubungan antara biaya yang dikeluarkan tiap l nya pada masing-masing overflowrate.

Untuk memperoleh biaya yang optimal perlu dicoba disain untuk diameter kolom yang berbeda. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan tinggi kolom yang sama dan massa karbon yang berbeda diperoleh hasil sebagai berikut :

TABEL 5-5: DATA HUBUNGAN ANTARA OVERLOWRATE DAN DEBIT PADA REAKTOR DEKHLORINASI DENGAN BEBERAPA DIAMETER KOLOM PADA TINGGI KARBON 120.1 CM MELAWAN BIAYA PENGOLAHAN PER LITERNYA

OVERLOWRATE (CM/MNT)	DIAMETER KOLOM(INC)	DEBIT (L/MENIT)	BIAYA PENGOLAHAN Rp/L	UMUR (JAM)
5,18	2,5	0,164	25	63
	3	0,362	15	63
	5	0,656	24,1	63
	8	1,679	24,2	63
10,38	2,5	0,328	28,4	26,74
	3	0,765	18	26,74
	5	1,312	28,5	26,74
	8	3,358	28,5	26,74
15,56	2,5	0,492	235	2,16
	3	1,148	145	2,16
	5	1,968	235	2,16
	8	5,037	235	2,16

Dari tabel 5-5 dapat dilihat bahwa diameter 3" lebih murah dibandingkan diameter yang lain. Grafik 5-4 menunjukkan hubungan antara overflowrate dengan harga air terolah per liternya yang disebutkan pada tabel 5-5.



GRAFIK 5-4: HUBUNGAN ANTARA BIAYA PENGOLAHAN PER L FILTRAT MELAWAN OVERFLOWRATE PADA BEBERAPA DIAMETER KOLOM

5.2.5. Tabel Ringkasan Hasil Analisa Penelitian.

Tabel ini berisi ringkasan hasil analisa penelitian yang dilakukan. Tabel ini dibuat untuk lebih memudahkan melihat poin-poin yang dihasilkan dari penelitian.

TABEL 5-6: RINGKASAAN HASIL ANALISA PENELITIAN.

ROSES	JENIS KARBON AKTIF	JENIS SAMPEL	HASIL ANALISA
BATCH	import	buatan	$K = e^{-1,894 \cdot 10^{-7}}$
	lokal	buatan	$K = e^{-1,816 \cdot 10^{-7}}$ K dalam $\text{kg/m}^3\text{-det}$
KONTINYU	import	buatan	Model Hans Ples $k_1 = 5,613 \cdot 10^{-2}$
	lokal	distantart	$k_1 = 5,428 \cdot 10^{-2}$
		buatan	$k_1 = 2,820 \cdot 10^{-2}$
		air PAM	$k_1 = 2,611 \cdot 10^{-2}$
		distantart	dalam kg/m-det Model kinetik.
KONTINYU	import	buatan	$k_1 = 1,093 \cdot 10^{-3}$ $q_0 = 0,0963$
	lokal	buatan	$k_1 = 1,751 \cdot 10^{-3}$ $q_0 = 0,0084$ q_0 dalam kg/kg
KONTINYU			k_1 dalam $\text{M}^3/\text{det-kg}$
overflow	import	buatan	Model Bohart-Adam $No = 0,473$ $K = 133.808$
rate	lokal	buatan	$No = 0,093$ $K = 0,348$
$8,63 \cdot 10^{-4}$	import	air PAM	$No = 0,473$ $K = 133.808$
m/det		distantart	$No = 0,456$ $K = 510$
$8,63 \cdot 10^{-4}$			$No = 0,279$ $K = 138$
m/det			No dalam kg/m^3 K dalam m/kg-det
$1,72 \cdot 10^{-3}$			
m/det			
$2,59 \cdot 10^{-3}$			
m/det			

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan.

1. Proses Batch.

Kemampuan dekhlorinasi karbon aktif tidak terukur secara sempurna. Hal tersebut terjadi karena ada proses lain yang terjadi yaitu proses aerasi. Kedua proses tersebut terukur sebagai satu proses yaitu dekhlorinasi dengan menggunakan karbon aktif.

2. Proses Kontinyu.

- Metode Hans Pick hanya dapat memperoleh perbandingan $L(\text{panjang kolom})/Q(\text{debit operasi})$ untuk memperoleh removal maksimal pada diameter kolom yang dipakai sebagai percobaan.
- Percobaan dengan sampel air PAM yang distandartkan dan dengan sampel buatan diperoleh perbedaan hasil. Hal ini terjadi karena ada zat lain yang diserap.
- Metode Hans Pick tidak bisa meramalkan umur desain.
- Dari perbandingan kemampuan ketiga model diatas karbon aktif import secara teknis dan ekonomis lebih baik digunakan sebagai dekhlorinator dari karbon aktif lokal.
- Penerapan Model Bohart-Adam untuk menguji jenis karbon aktif yang lain lebih praktis dibanding model yang lain.

6.2. Saran.

1. Pengoperasian dengan penghentian-penghentian memberikan hasil yang berbeda dari hasil disain. Gejala ini menunjukkan adanya perpanjangan umur dari reaktor. Untuk tujuan mengekonomiskan pemakaian reaktor perlu diteliti hubungan antara lama penghentian dengan umur dari reaktor.
2. Karena proses tranfer gas juga berpengaruh terhadap dekhlorinasi maka, penelitian terhadap kemampuan aerasi sebagai dekhlorinator perlu dilakukan. Diharapkan penggabungan antara kedua reaktor Karbon dekhlorinator dan aerator akan memberi manfaat terhadap umur dekhlorinator.
3. Penelitian terhadap SO_2 untuk dekhlorinasi perlu dikaji karena dari literatur biayanya cukup murah.

LAMPIRAN 1

LAMPIRAN 1-1

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Import (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 1,25 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	1,8	1,8	1,8	1,8
1	3	1,5	1,6	1,4	1,5
1,5	3	1,1	1,0	1,3	1,1
2	3	0,82	0,86	0,8	0,82
2,5	3	0,74	0,75	0,76	0,74
3	3	0,66	0,64	0,68	0,66

LAMPIRAN 1-2

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Import (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 2,5 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	0,84	0,85	0,84	0,84
1	3	0,6	0,55	0,6	0,6
1,5	3	0,45	0,4	0,4	0,4
2	3	0,38	0,35	0,35	0,36
2,5	3	0,3	0,3	0,3	0,3
3	3	0,28	0,28	0,30	0,28

LAMPIRAN 1-3

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Import (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 5 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	0,6	0,4	0,7	0,5
1	3	0,3	0,35	0,3	0,32
1,5	3	0,12	0,15	0,2	0,16
2	3	0,1	0,12	0,14	0,12
2,5	3	0,1	0,1	0,15	0,1
3	3	0,08	0,08	0,1	0,08

LAMPIRAN 1-4

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Import (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 7,5 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	0,1	0,1	0,08	0,1
1	3	0,08	0,08	0,08	0,08
1,5	3	0,05	0,05	0,05	0,05
2	3	-	-	-	-
2,5	3	-	-	-	-
3	3	-	-	-	-

LAMPIRAN 1-5

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Lokal (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 1,25 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	2,1	2,0	2,0	2,0
1	3	1,6	1,7	1,5	1,6
1,5	3	1,32	1,3	1,32	1,32
2	3	1,20	1,20	1,22	1,20
2,5	3	1,08	1,05	1,08	1,08
3	3	1,00	1,05	1,00	1,00

LAMPIRAN 1-6

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Lokal (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 2,5 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	2,0	1,9	1,9	1,9
1	3	0,9	0,95	0,9	0,9
1,5	3	0,6	0,55	0,6	0,58
2	3	0,42	0,40	0,40	0,40
2,5	3	0,30	0,30	0,30	0,30
3	3	0,25	0,32	0,30	0,30

LAMPIRAN 1-7

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Lokal (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 5 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	1,3	1,3	1,3	1,3
1	3	0,5	0,6	0,4	0,5
1,5	3	0,32	0,25	0,30	0,32
2	3	0,14	0,12	0,16	0,14
2,5	3	0,10	0,10	0,12	0,10
3	3	0,10	0,10	0,10	0,10

LAMPIRAAN 1-8

Data Penurunan Konsentrasi Untuk Karbon Aktif Lokal (BELANDA) Pada Reaksi Batch dengan konsentrasi karbon 7,5 gr/l dan konsentrasi sampel 3 mg/l.

waktu (jam)	konsentrasi awal (ppm)	konsentrasi akhir (ppm) pada percobaan ke			
		1	2	3	rata ²
0	3	3	3	3	3
0,5	3	0,8	0,82	0,82	0,82
1	3	0,4	0,40	0,40	0,4
1,5	3	0,28	0,28	0,3	0,28
2	3	0,20	0,20	0,20	0,20
2,5	3	0,10	0,10	0,15	0,10
3	3	0,08	0,08	0,10	0,08

LAMPIRAN 2

Data AQC Khlor bebas

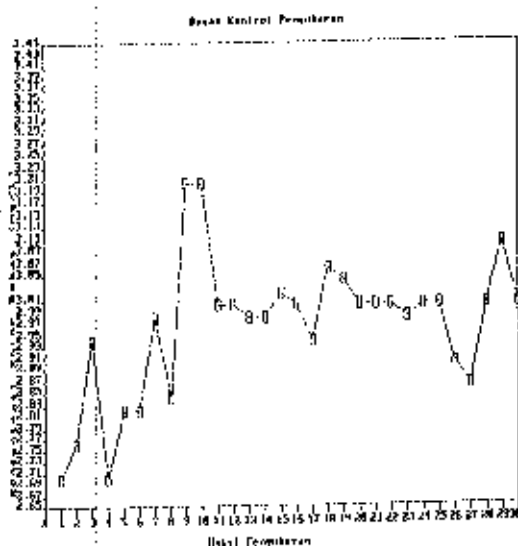
No Sampel	Hasil Pengukuran	No Sampel	Hasil Pengukuran
1	2,7	16	3
2	2,76	17	2,94
3	2,94	18	3,06
4	2,7	19	3,04
5	2,82	20	3
6	2,82	21	3
7	2,88	22	3
8	2,84	23	2,98
9	3,2	24	3
10	3,2	25	3
11	3	26	2,9
12	3	27	2,86
13	2,98	28	3
14	2,98	29	3,1
15	3,02	30	3

konsentrasi standart : 3 mg/l

jumlah sampel : 30

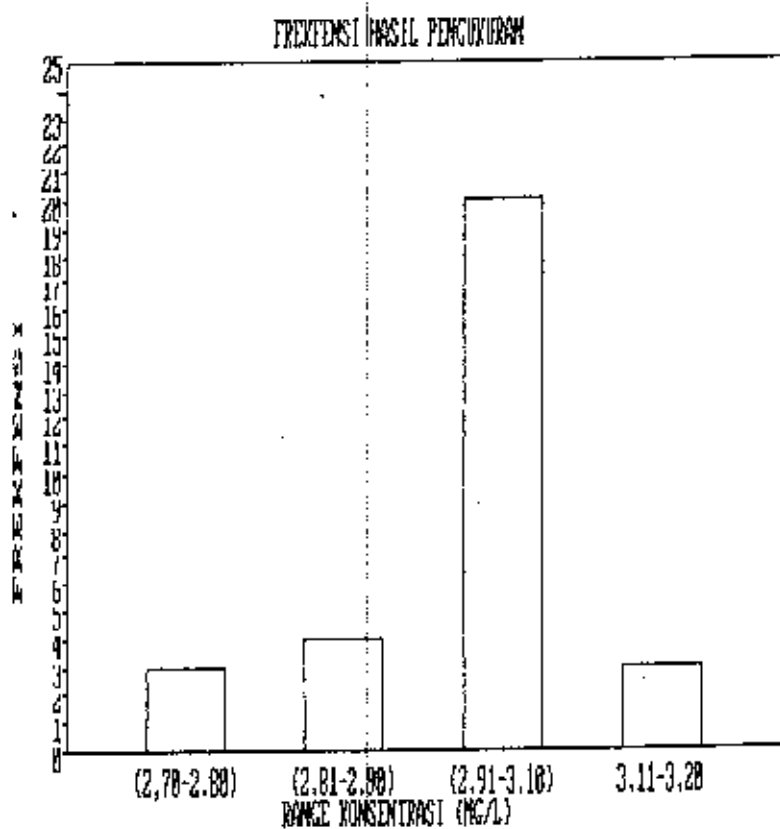
rata-rata : 2,96

standart deviasi : 0,1197



Distribusi frekuensi AQC Khlor Bebas

konsentrasi(mg/l)	frekuensi
2,70 - 2,80	3
2,81 - 2,90	4
2,91 - 3,10	20
3,11 - 3,20	3



LAMPIRAN 3

Spesifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif Import :

Gradasi : 8-30 mesh

Densitas :

bulk density = 0,4 gr/cc

apparent density = 0,2629 gr/cc

Karbon aktif Lokal

Gradasi : 4-8 mesh

Densitas :

bulk density =

apparent density = 0,712 gr/cc

Data penentuan Apparent Density

karbon aktif import :	
	0,2633
	0,2625
	0,2629
	0,2628
	0,2628
rata-rata	= 0,26286
	= 0,2629
standart deviasi	= 0.0003

karbon aktif lokal :	
	0,7123
	0,7125
	0,7120
	0,7118
	0,7114
rata-rata	= 0,7120
	= 0,7120
standart deviasi	= 0.0004

LAMPIRAN 4

Data Hasil Percobaan Penentuan Waktu Kontak
Untuk Memperoleh Konsentrasi Akhir Mendekati 0

karbon Aktif Import
konsentrasi awal 3 mg/l

waktu kontak (menit)	konsentrasi akhir (mg/l)
15	< 0,05
20	< 0,05
53	0

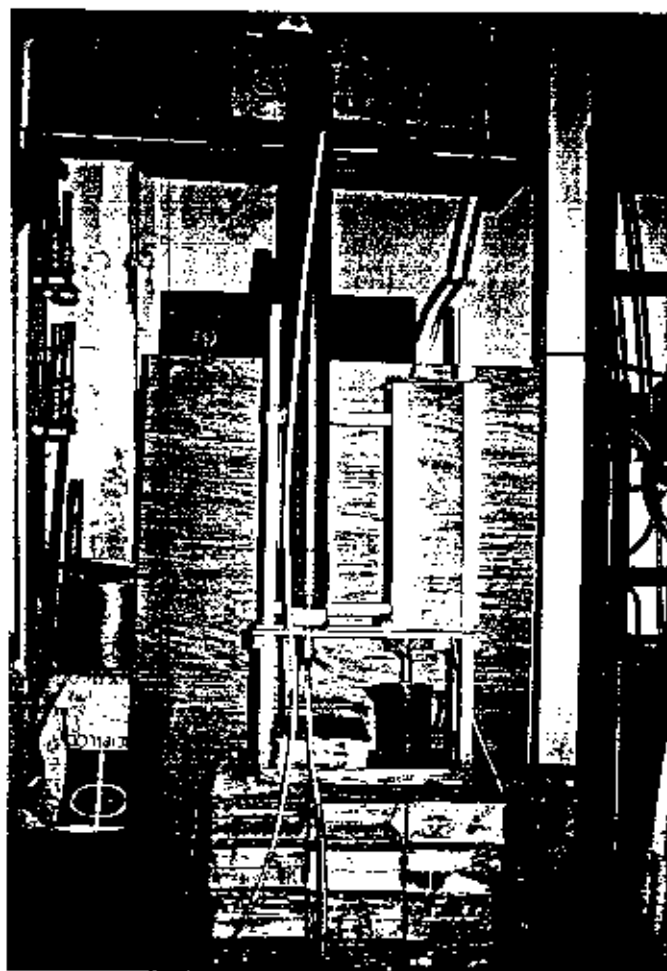
karbon Aktif Lokal
konsentrasi awal 3 mg/l

waktu kontak (menit)	konsentrasi akhir (mg/l)
32	< 0,05
47	< 0,05
53	< 0,05
128	0

LAMPIRAN 5



Tandon sampel



Reaktor Kontinyu

Figure 1. The effect of the concentration of the *Agrobacterium* suspension on the transformation efficiency of *Agrobacterium* strains. The concentration of the *Agrobacterium* suspension was 10⁶ cells/ml (○), 10⁷ cells/ml (□), 10⁸ cells/ml (△), and 10⁹ cells/ml (◇). The error bars represent the standard deviation of three independent experiments.

1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

DAFTAR PUSTAKA

1. American Public Health Association, American Water Work Association and Water Polutan Control Federation
Standart Methodes for The Examination of Water
and Waste Water. 13th edition (1979).
2. Alaerts G. Dr. Ir, Santika Sri Sumestri Ir. MSc, Metode
Penelitian Air. Usaha Nasional Surabaya (1984).
3. Benefield. L.D., Judkins Jr , J.F , Weand , B.L
Process Chemistry for Water & Wastewater
Treatment Prentice Hall Inc (1982).
4. Clup L Gordon, Clup L Russell. New Concept In Water
Purification. Van Nostrand Reinhold (1974)
5. Boedisantoso Rachmat. Tugas Akhir Efisiensi Karbon Aktif
Ditinjau Dari Penurunan Total Organik Carbon
(TOC). Program Studi Teknik Lingkungan, FTSP,
ITS (1991).
6. Cheremisinoff Paul N, Ellerbush F. Carbon Aktif Handbook.
Ann Arbor Sience (1980).
7. Degremond, Water Treatment Handbook (fifth edition).
John Willey And Sons (1979).
8. Fair G M , Geyer J C , Okun D A. Water and Wastewater
Engineering Volume 2 Water Purification and
Wastewater Treatment and Disposal Mc Graw Hill
Book Co (1967).
9. Hammer. Mark J. Water And Wastewater Technologi SI Version
(second edition). John Willey & Sons (1986).
10. Johnson. Dienfection Water and Wastewater. An Arbor
Sience (1977).

11. Reynold T D Unit Operation And Proseses in Environmental Engineering. Brooks/Cole Engineering Division of Wadsworth Inc (1982).
12. Rich Linvil G. Unit Operation Of Sanitary Engineering. John Willey & Sons Inc (1961)
13. R. Mursid. Tugas Akhir Proporsional Clorinator Program Studi Teknik Lingkungan, FTSP, ITS (1991).
14. Trieff N M. Environmental And Health. An Arbor Science (1981)
15. Weber W.J. Physicochemical Processes, John Willey & Sons Inc (1972).
16. Walpole Ronald E, Myers Raymondh. Ilmu peluang Dan Statistiks Untuk Insinyur Dan Ilmuwan. Penerbit ITB Bandung (1988).